

Бородкин // Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 39. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2006. 142 с.

4. Смирнова А. Я., Бугреева М. Н., Бабкина О. А. Источники марганцевого загрязнения подземных вод долины Воронежского водохранилища // Природные ресурсы Воронежской области, их воспроизводство, мониторинг и охрана: Сб. ст. Воронеж, 1995. С. 49-52.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ГРУНТА, ЗАКРЕПЛЕННОГО ИЗВЕСТЬСОДЕРЖАЩИМ ОТХОДОМ**

Иванов Павел Владиславович

*Геологического ф-т МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, [pvivanov@ya.ru](mailto:pvivanov@ya.ru)*

Постоянно увеличивающийся объем накапливаемых твердых промышленных отходов обостряет проблему загрязнения окружающей среды. В настоящее время на территории России более 80 млрд. тонн отходов занимают почти 300 тыс. га полезных земель и создают неблагоприятную экологическую обстановку. В связи с этим возникает острая необходимость поиска путей утилизации отходов. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является перевод их в категорию вторичных минеральных ресурсов и использование в качестве техногенного сырья.

Кроме того, возрастающие темпы строительства, в том числе и дорожного, увеличивают потребность в строительных материалах. В связи с этим особенно остро стоит проблема разработки ресурсосберегающих технологий. Так, в целях снижения расходов основных вяжущих материалов (цемента, извести) на кафедре Инженерной и экологической геологии Геологического факультета МГУ большое внимание уделяется исследованиям по выявлению возможности использования промышленных отходов для получения строительных материалов.

В последнее время представляют интерес исследования по изучению возможности использования известьсодержащих отходов (ИСО) сахарного производства для укрепления грунтов. Результаты исследований, проведенных в Белгородском университете, показали, что его применение в составе комплексного вяжущего в сочетании с цементом способствует получению строительных материалов с высокими физико-механическими свойствами. Подобные исследования проводятся и в Московском университете. Также изучается возможность использования ИСО в качестве самостоятельного вяжущего для укрепления техногенных и природных грунтов различного генезиса. Большое внимание уделяется исследованиям по изучению влияния различных химических веществ на процессы твердения грунтов, закрепленных ИСО.

Исследования проводились на моренном суглинке, отобранном в г. Москва на территории Московского университета. По данным гранулометрического пипеточного анализа грунт представлен тяжелым суглинком (по Н.А. Качинскому) [3]. В нем преобладают песчаные фракции (60 %), пылеватых частиц 6 %, 24 % - глинистых. По коэффициенту неоднородности (15) грунт является неоднородным. Влажность нижнего предела пластичности составляет 10 %, верхнего – 20 %. По числу пластичности (10) грунт является суглинком. Плотность твердых частиц 2,62 г/см<sup>3</sup>. По результатам анализа водной вытяжки, проведенного по стандартной методике [1], грунт в соответствии с ГОСТ 25100-95 является незасоленным. Сухой остаток не превышает 0,04 %. В вытяжке преобладают ионы бикарбонатов (18,91 мг/100 г), катионы кальция (7,8 мг/100 г) и натрия (4,6 мг/100 г). Грунт карбонатный, содержание карбонатов составляет 5,06 %. Присутствие органических веществ не превышает 0,26 %. По данным рентгенанализа в суглинке присутствуют кальцит, кварц, полевые шпаты, глинистые минералы, представленные каолинитом и гидрослюдами.

В качестве вяжущего использовался известьсодержащий отход сахарного производства одного из заводов Белгородской области. Основным компонентом ИСО является известь. Известь - медленно твердеющее вяжущее. А также в известьсодержащем отходе присутствует около 25-30 % CaCO<sub>3</sub>, в связи с чем процесс твердения имеет замедленный характер. Введение в грунт CaCO<sub>3</sub>, не обладающего вяжущими свойствами, снижает его прочностные показатели, особенно на ранних сроках твердения [5]. Известьсодержащий отход по ГОСТ 25100-95 представляет собой песок пылеватый, сумма песчаных частиц достигает 74 %, а содержание глинистой фракции (<0,001 мм) составляет 6 % [4]. Он представляет собой пастообразную массу, естественная влажность которого 57-60 %. Плотность твердой фазы  $\rho_s=2,44$  г/см<sup>3</sup>. По данным рентгеноструктурного анализа, выполненного Шлыковым В.Г., отход состоит из портландита (66 %), кальцита (26 %) и ПАВ (8 %). Причем порядка 7 % кальцита находится в рентгеноаморфном состоянии [4]. Содержание карбонатов достигает 41-42 %. Присутствие активных СаО и MgO, определенных по методу Тананаева, достигает 35 % и 0,8 % соответственно [5]. рН среды 12 – среда сильнощелочная.

В качестве химического активизатора использовался кремнефторид натрия Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>. Это малорастворимая соль кремнефтористоводородной кислоты, ее растворимость равна 0,615 г/100 г воды [2]. Исследования показали, что этот активизатор хорошо проявляет себя при закреплении карбонатосодержащих пород. Ион кальция карбоната CaCO<sub>3</sub> взаимодействует с радикалом SiF<sub>6</sub> с образованием практически нерастворимой соли CaF<sub>2</sub>, благодаря наличию которой увеличивается прочность, водостойкость и морозостойкость многих грунтов.

Наряду с этим было проведено исследование по применению в качестве добавки силиката натрия  $\text{NaO} \cdot n\text{SiO}_2$ .

Также в качестве компонента комплексного вяжущего был использован цемент марки 400 в сочетании с ИСО.

Образцы готовились при оптимальной влажности уплотнения, определенной по стандартной методике и равной 9 %. Изготавливалась смесь в пропорциях 90 % грунта и 10 % ИСО с добавлением необходимого количества воды, перемешивалась до однородной массы. Кремнефторид натрия и цемент вводились в смесь в количествах 5 % от сухого грунта, а силикат натрия добавлялся в таких же количествах с водой затворения. Далее смесь помещалась в специальные формы и уплотнялась под нагрузкой 3,0 МПа в течение 5 минут. Полученные образцы хранились в воздушно-влажностных условиях (в эксикаторе над водой) и после определенных сроков твердения (7 суток, 14, 21, 28, 60) испытывались на одноосное сжатие на приборе МП-2с. Испытания проводились на 3х образцах, результаты усреднялись. Кроме того, 2 образца на каждом сроке испытывались после двухсуточного водонасыщения. При испытаниях проводился контроль влажности и плотности скелета.

Результаты испытаний системы «грунт + ИСО» приведены в таблице 1. Прочность воздушно-влажностных образцов постепенно увеличивается от 1,35 МПа до 2,21 к 60-м суткам твердения. Также возрастает и прочность водонасыщенных образцов, от 0,4 до 1,1 МПа. При этом постепенно повышается коэффициент размягчения от 0,3 до 0,5. Влажность несколько снижается, что также способствует увеличению прочности за счет снижения расклинивающего давления гидратных пленок. Плотность скелета составляет порядка 1,87-1,89 г/см<sup>3</sup>, особых закономерностей в ее изменении на разных сроках не выявлено.

По данным микроскопического анализа образцов со сроком твердения 7 суток на грунтовых частицах заметны налеты извести. Новообразования представлены гелевидными образованиями, это обусловлено тем, что известь представляет собой медленно твердеющее вяжущее. Кристаллических новообразований нет. В образцах сроком твердения 60 суток заметно образование «мостиков», связывающих грунтовые частицы.

Анализ приведенных в таблице 1 данных показывает, что прочность исследованных образцов несколько ниже, чем полученная ранее. По-видимому, это объясняется тем, что и в естественных отвалах ИСО, и в лабораторных условиях идут процессы, приводящие к снижению вяжущих свойств отхода. Его компоненты активно взаимодействуют с углекислым газом воздуха, известь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  переходит в карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ . Со временем содержание карбоната увеличивается, отход снижает вяжущие свойства.

Результаты испытаний системы с кремнефторидом натрия приведены в таблице 2.

Таблица 1. Изменения свойств системы грунт + ИСО во времени.

| Сроки твердения, сут       |                | 7          | 14         | 21         | 28         | 60         |
|----------------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| воздушно-влажные           | прочность, МПа | 1,35/1,5 * | 1,55/1,7 * | 1,65/1,7 * | 1,89/2,1 * | 2,21/2,8 * |
|                            | влажность, %   | 7          | -          | 6,7        | 6,5        | 6,3        |
| водонасыщенные             | прочность, МПа | 0,4        | 0,6        | 0,81       | 0,92       | 1,1        |
|                            | влажность, %   | 16         | 16,1       | -          | 16,5       | 17         |
| Коэффициент размягчаемости |                | 0,3        | 0,39       | 0,49       | 0,49       | 0,5        |

Примечание: \* - в знаменателе дроби приведено значение прочности на одноосное сжатие из работы Натальи Кузьминой, 2008г.

Таблица 2. Изменения свойств системы с кремнефторидом натрия во времени.

| Сроки твердения, сут |                                      | 7    | 14   | 21   | 28   | 60   |
|----------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| воздушно-влажные     | прочность, МПа                       | 0,95 | 1,21 | 0,61 | 0,6  | 0,21 |
|                      | влажность, %                         | 9,1  | 9,9  | 11,3 | 12   | 12,5 |
|                      | плотность скелета, г/см <sup>3</sup> | 1,75 | 1,77 | 1,75 | 1,72 | -    |

Следует отметить, что образцы неводостойкие, разрушаются в воде. В течение первых 14 суток твердения наблюдается рост прочности, которая достигает максимума в 1,21 МПа. В этот же срок наблюдается и максимальная плотность скелета. В дальнейшем происходит резкое снижение прочности до 0,21 МПа. Прочность скелета так же заметно уменьшается. Однако влажность напротив, достаточно резко повышается от 9% в первые дни эксперимента до 12,5 на 60-е сутки. Возможно, именно растущее расклинивающее давление гидратных пленок и ведет к резкому снижению прочности.

Результаты испытаний этой системы получились неудовлетворительными. Возможно, это связано с изначальным присутствием в отходе большого процента карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$  и недостаточного количества  $\text{Ca(OH)}_2$  для образования водостойких соединений. Однако этот вопрос требует дальнейшего исследования.

Наряду с этим проведены дополнительные исследования смеси с добавкой силиката натрия (жидкого стекла) в качестве активизатора твердения. Этот реагент является хорошо растворимым соединением [2], что позволило вводить его в смесь с водой затворения. Результаты испытаний приведены в таблице 3. Образцы не разрушаются в воде, хотя их прочность и плотность скелета оказалась низкими, а влажность – слишком высокой. Возможность использования этого активизатора также следует дополнительно исследовать.

Наилучшие результаты дала система с добавлением цемента (таблица 4).

Таблица 3. Изменения свойств системы с силикатом натрия во времени.

| Сроки твердения, сут |                                      | 7    | 14   |
|----------------------|--------------------------------------|------|------|
| воздушно-влажные     | прочность, МПа                       | 1,1  | 1,1  |
|                      | влажность, %                         | 13,5 | 19,1 |
|                      | плотность скелета, г/см <sup>3</sup> | 1,56 | 1,5  |
| водонасыщенные       | прочность, МПа                       | 0,5  | 0,4  |

Таблица 4. Изменения свойств системы с цементом во времени.

| Сроки твердения, сут       |                | 7    | 14   | 21   | 28   | 60   |
|----------------------------|----------------|------|------|------|------|------|
| воздушно-влажные           | прочность, МПа | 2,42 | 2,62 | 2,93 | 3,01 | 3,21 |
|                            | влажность, %   | 7    | 7,1  | 7,1  | 7,1  | 7    |
| водонасыщенные             | прочность, МПа | 1,1  | 1,1  | 1,5  | 2,1  | 2,5  |
|                            | влажность, %   | 10,1 | 11,3 | -    | 12,1 | 13,2 |
| Коэффициент размягчаемости |                | 0,45 | 0,42 | 0,51 | 0,70 | 0,78 |

Происходит постепенное увеличение прочности, от 2,42 МПа за 7 суток твердения до 3,21 к 60-м. Влажность практически не меняется, составляет 7%. Водонасыщенные образцы также имеют достаточно большую прочность, постепенно возрастающую до 2,5 МПа. Коэффициент размягчения так же увеличивается, достигая на 60-е сутки значения 0,78, что говорит о водостойкости образцов.

Исследования показали, что наилучшие результаты получены при укреплении грунта комплексным вяжущим, состоящим из ИСО в сочетании с цементом. При этом прочность грунта и его водостойкость позволяют рассматривать систему в качестве перспективного материала в дорожном строительстве. Снижение расхода цемента на закрепление грунтов дает очевидный экономический эффект.

#### Литература:

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Изд-во МГУ, 1970. 489 с.
2. Воронкевич С. Д. Основы технической мелиорации грунтов. М.: Научный мир, 2005. 504 с.
3. Практикум по грунтоведению. Под редакцией В. Т. Трофимова и В. А. Королева. Изд-во МГУ, 1993. 392 с.
4. Рябова А. А. Вопросы охраны окружающей среды на территории Белгородской области и оценка возможностей использования

техногенных грунтов – отходов производства в дорожном строительстве (Дипломная работа). М., 2006.

5. Строкова В. В. Грунтобетоны на основе глинистых пород КМА для дорожного строительства: Монография / В. В. Строкова, А. Ф. Щеглов. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2003. 152 с.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТЫХ ПОРОД ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА**

Калиниченко Ирина Владиславовна

*Геологического ф-т МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,*

*[kalinichenko-i@yandex.ru](mailto:kalinichenko-i@yandex.ru)*

Для качественного и бесперебойного функционирования системы газоснабжения необходимо соорудить достаточно большое количество подземных хранилищ газа (ПХГ) на протяжении всей длины трубопровода. Они обеспечивают равномерную подачу газа с учетом суточной и сезонной неравномерности потребления, а так же позволяют создавать долгосрочные запасы газа стратегического и катастрофического назначения. Наиболее простым с точки зрения финансовых затрат и поиска подходящих геологических условий для создания ПХГ является вариант сооружения резервуаров в пористых породах-коллекторах (водонасыщенных пластах и отработанных месторождениях углеводородов). Поэтому самыми распространенными хранилищами в мире и на территории РФ, в частности, являются ПХГ в терригенных породах (песках и песчаниках).

Особенностью работы подземных хранилищ является постоянная смена периодов отбора и нагнетания хранимого продукта (соответственно минимального и максимального противодавлений) в течение многолетней эксплуатации. В результате происходит перераспределение поровой среды, разрушение первоначальной структуры песчаника и образование новой более плотной, за счет чего пористость и активный объем хранилища должны уменьшаться. Проверить данное предположение позволяет проведение серии экспериментов в лабораторных условиях на песчаниках (или их моделях) при давлениях и условиях, максимально близких к реально существующим на глубине при работе ПХГ.

Экспериментальные работы велись на уникальной установке компрессионного сжатия УКС, сконструированной специально для подобных задач ФГУГП ВНИМИ. Она позволяет проводить испытания по определению поведения пород в условиях всестороннего сжатия и создавать внутри образца поровое давление и управлять им отдельно от осевого и бокового. Это даёт