

УДК 662.613.1+ 624.138.4

ПЕРСПЕКТИВА УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Т. Т. Абрамова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет, 119991, ГСП-1, г. Москва, Россия, attoma@mail.ru

Одним из перспективных путей утилизации зольных отходов является использование их для строительных целей, в качестве оснований различных сооружений промышленного и гражданского строительства. Эффективность использования метода силикатизации на основе формамидсиликатного раствора для преобразования неактивной слабопроницаемой золы гидродуления представлена в данной работе.

Ключевые слова: зольные отходы; прочность; водостойкость; слабый грунт; силикатизация.

PROSPECTS FOR RECYCLING ASH WASTE

T. T. Abramova

Lomonosov Moscow State University, Leninskie gory, MSU, Faculty of Geology, 119991, Moscow, GSP-1, Russia, attoma@mail.ru

One of the promising ways of recycling ash waste is to use it for construction purposes, as the foundations of various industrial and civil construction projects. The effectiveness of using the silicization method based on a formamide silicate solution for the transformation of inactive low-permeability ash from hydraulic removal is presented in this work.

Keywords: bottom ash; strength; water resistance; weak soil; silicization.

За сравнительно небольшой срок своего существования человечество стало мощной геологической силой, активно преобразующей лик Земли. Техногенно-антропогенные отложения, обусловленные существованием города, связаны с накоплением строительных, промышленных, хозяйственно-бытовых и других отходов. В настоящее время на территории России накоплено более 1,5 млрд. тонн отходов теплоэнергетики, площадь золошлакоотвалов составляет более 28 тыс. га и ежегодно их количество увеличивается.

В зоне воздействия золоотвалов формируются техногенно-геохимические аномалии по своим свойствам и геохимическим параметрам отличающиеся от природных, что создает неблагоприятную экологическую обстановку в регионах и является источником загрязнения окружающей среды.

Мир знает много эффективных способов пустить отходы в дело. В европейских странах доля утилизированных золошлаковых отходов превышает 50 %, а в Японии составляет 75-100 %. Россия пока среди отстающих: перерабатывается не более 8 % углеродных отходов, остальное размещается на полигонах. Золошлаковые отходы в России наиболее широко используются в качестве заполнителей, добавок при изготовлении строительных материалов (цемента, бетонов и др.); в качестве материала для сооружения насыпей земляного полотна и в технической мелиорации грунтов [1]. По применению их в технической мелиорации выделены два направления. Первое — в дорожном строительстве при укреплении на дорогах III-IV категорий. Второе — в качестве оснований различных сооружений промышленного и гражданского строительства. Первое направление довольно широко используется в нашей стране, а второму уделено значительно меньше внимания. Шлаки в ряде случаев могут применяться в качестве оснований различных сооружений без предварительной обработки. Значительно меньше уделено внимания зольным отходам в качестве оснований сооружений. Зола гидроудаления характеризуется низкой несущей способностью и неравномерной сжимаемостью, что обуславливает необходимость улучшения их свойств.

В связи с этим основной задачей данной работы явилась оценка эффективности метода силикатизации при закреплении зол с низкой физико-химической активностью для применения в гражданском и промышленном строительстве.

Первые исследования в этом направлении по упрочнению торфяной золы гидроудаления были проведены в семидесятых годах прошлого столетия в проблемной лаборатории геологического факультета МГУ под руководством С. Д. Воронкевича. Для золы с коэффициентом фильтрации 0,6-1,14 м/сут был выбран метод газовой силикатизации. Полученные результаты показали, что он эффективен только для закреплении золы с высокой водопроницаемостью [2].

В качестве наиболее перспективного метода по преобразованию таких зол «мокрого отбора», лишенных вяжущих свойств, был выбран формамидсиликатный раствор, показавший положительные результаты по закреплению широкого спектра грунтов, резко отличающихся по дисперсности и минеральному составу [3].

Искусственное преобразование слабопроницаемой золы гидроудаления в целях использования ее в качестве оснований различных сооружений было изучено как в лабораторных условиях (лаборатория геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова «Исследование влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов»), так и в полевых (*in situ* в Ростовской области). Полученные результаты позволили установить значительное преобразование зольных отходов с $K_f < 0,6$ м/сут.

Золошлаковые отвалы занимают большие площади, а инъекционные растворы для их преобразования в настоящее время являются дорогими. Поэтому целью данных исследований явилось определение возможности интенсификации физико-химического взаимодействия золы и формамидсиликатного раствора с использованием минимальных концентраций реагирующих веществ, что, в свою очередь, будет способствовать в дальнейшем лучшему проникновению раствора в уплотненный зольный массив в сложных инженерно-геологических условиях и значительно снизит стоимость производственных работ.

Для экспериментов, так же как ранее в работе [4], отобрана неактивная зола (в минеральном составе не содержит силикат кальция) с незначительной водопроницаемостью ($K_f \sim 0,6$ м/сут) из золоотвала ТЭС г. Новомосковск (Тульская область). В ее составе преобладают частицы размером 0,05-0,01 мм (54,5 %), 0,1-0,05 мм (17,7 %). Содержание глинистых частиц незначительно – 1,04 %. Плотность материала в отвале – 2,4 г/см³, объемная масса 1,5 г/см³. Коэффициент пористости – 1,7. Химический состав представлен: SiO₂ – 42,4 %; R₂O₃ – 45,7 %; Al₂O₃ – 39,9 %; Fe₂O₃ – 5,8 %; п. п. п. – 0,1-1,0.

Для инъектирования золы были подобраны четыре состава растворов с колебаниями концентрации силиката натрия 1,13-1,19·10³ кг/м³, формамида 20-80 % и вязкостью от 0,93 до 2,08 Пас. Использование минимального количества отвердителей силиката натрия: формамида и отхода от его производства — кубового остатка формамида (КОФ) осуществлялось с экономическими целями. В этом случае для ускорения реакции гелеобразования раствор формамида подогревался до температуры +40 °С. Прочность гелей изученных составов на третьи сутки твердения составляла 0,10-0,19 МПа в зависимости от состава раствора.

Составы растворов:

1. Силикат натрия, формамид 80 %; плотность раствора (γ) – 1,17·10³ кг/см³, вязкость (η) – 2,08 Пас.;
2. Силикат натрия, КОФ; γ – 1,15·10³ кг/см³, η – 1,76 Пас.;
3. Силикат натрия, формамид 20 %; γ – 1,15·10³ кг/см³, η – 1,16 Пас.;
4. Силикат натрия, формамид 20 % ($t=40$ °С); γ – 1,10·10³ кг/см³, η – 0,93 Пас.

Искусственное преобразование техногенных грунтов в виде зольных отходов обусловлено в первую очередь свойствами геля, образующегося из инъекционного раствора. Кроме этого необходимо, чтобы наиболее полно произошло взаимодействие минеральной составляющей золы с инъектируемым щелочным формамидсиликатом. В нашем случае образцы, закрепленные выбранными составами инъекционных растворов, изучались на размягчаемость [5]. Коэффициент размягчения преобразованной золы, определенный через трое суток, имел значения в пределах 0,63–0,65. Это подтверждает, что взаимодействие каждого из четырех

выбранных растворов с минеральной составляющей золы протекает однотипно.

Основными критериями оценки качества преобразования зольных отходов является прочность и длительная устойчивость в различных условиях. В связи с этим все образцы после закрепления испытывались на прочность (на одноосное сжатие) после нахождения в различных средах: воздушно-влажной и водной (с постоянным сливом воды).

Проведенные исследования показали, что максимальную прочность приобретают образцы золы после их закрепления составом 1, в котором присутствуют максимальная концентрация силиката натрия и формамида. Они приобретают прочность через 1 сутки твердения, достигающую 0,8 МПа с постепенным возрастанием ее до значений 1,1 МПа (через 12 мес.) в воздушно-влажной среде и снижением с 0,7 МПа (через 1 сут.) до 0,6 МПа (через 12 мес.) в водной среде.

Замена отвердителя в инъекционном растворе на КОФ (состав 2) показала неплохие результаты с достижением прочностных показателей 0,7-0,75 МПа в воздушно-влажной среде и 0,6-0,5 МПа в водной за тот же промежуток времени.

Прочностные характеристики золы, закрепленной составами 3 и 4, практически близки, достигая значений 0,4-0,5 МПа (1 мес.) — 0,5-0,6 МПа (12 мес.) в воздушно-влажной среде. Прочность образцов, закрепленных составом 4, при длительном их хранении в водных условиях (1 год) значительно выше (0,5 МПа), чем у образцов с составом 3, несмотря на то, что концентрация силиката натрия в составе 3 значительно выше ($1,19 \cdot 10^3$ г/см³), чем в составе 4 (1,13 г/см³). Это обусловлено сильной активизацией процесса гелеобразования за счет повышения температуры формамида.

Из вышесказанного следует, что выбранные составы органосиликатных растворов показали положительный результат экспериментального закрепления образцов неактивной золы гидроудаления.

Увеличение плотности с 1,10 до $1,17 \cdot 10^3$ кг/см³ и вязкости с 0,93 до 2,1 Пас инъецируемых растворов приводит к снижению их проникающей способности в плотную массу золы.

Важным результатом проведенной работы явилась возможность искусственного преобразования неактивной золы гидроудаления с помощью органосиликатных растворов низких концентраций реагирующих веществ.

В результате исследований было выявлено, что структурирование золы при ее преобразовании зависит от: концентрации реагирующих веществ и длительности твердения образцов в различных средах (воздушно-влажной и водной).

В заключение можно отметить, что увеличить проникающую способность органосиликатного раствора в сложные золы гидроудаления с низкой фильтрационной способностью возможно за счет интенсификации

физико-химического взаимодействия золы с раствором с помощью повышения температуры отвердителя.

Использование ускорителя и промышленного отхода (КОФ) в инъекционном органосиликатном растворе сможет в дальнейшем значительно снизить стоимость одного кубического метра закрепляемого массива.

Положительные результаты экспериментального закрепления золы гидроудаления в лабораторных условиях дают возможность проведения опытных работ в полевых условиях.

Применение органосиликатных растворов для искусственного преобразования зольных отходов поможет в дальнейшем в предотвращении многих экологических последствий. Прекращение роста площади и высоты отвалов, занимаемых золами, их существенное уменьшение будет способствовать предотвращению загрязнения атмосферы, подземных и поверхностных вод на территории городских агломераций.

Библиографические ссылки

1. *Ларионова Н. А.* Использование промышленных отходов в качестве вторичного минерального сырья для получения строительных материалов с заданными свойствами. М.: Геоинфо. 2017. 498 с.

2. *Воронкевич С. Д., Кофф Г. Л., Евдокимова Л. А.* Об экспериментальном упрочнении торфяной золы для использования в качестве основания сооружений // Энергетическое строительство. 1977. № 12. С.59-61.

3. Состав для закрепления грунта: А.с. 700583, СССР / Т. Т. Абрамова, С. Д. Воронкевич; дата публ.: 30.11.1979

4. *Абрамова Т. Т.* Утилизация золоотвалов на урбанизированных территориях // Экология и природопользование: устойчивое развитие сельских территорий: сборник статей по материалам III Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 5-9 июня 2023 г. / КубГАУ им. И. Т. Трубилина; редкол.: Н. В. Чернышева [и др.]. Краснодар 2023. С.248-251.

5. Грунтоведение: учеб. для студентов вузов, обучающихся по геол. специальностям / В. Т. Трофимов [и др.]; под ред. В. Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2005. 1023 с.