

характеристику деформационных свойств исследуемых грунтов с использованием интегральных параметров, отражающих весь нелинейный процесс деформирования во всем интервале действующих напряжений.

1. Зиангиров Р.С. Объемная деформируемость глинистых грунтов. – М.: Наука, 1979. – 164 с.
2. Королёв В.А. Термодинамика грунтов: Учебник. — ООО Сам полиграфист г. Москва, 2016. – 258 с.
3. Кульчицкий Л.И., Усъяров О.Г. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород. – М.: Недра – 1981. – 178 с.
4. Лабораторные работы по грунтоведению: уч. пособие / под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королёва, изд. – 3-е испр. и доп. / В.А. Королёв, В.Т. Трофимов, Е.Н. Самарин и др. – КДУ Москва, 2017. – 654 с.
5. Физико-химическая механика природных дисперсных систем / под ред. Е.Д. Шукина, Н.В. Перцова, В.И. Осипова, Р.И. Злочевской / Ю.П. Акимов, Е.А. Амелина, С.Д. Воронкевич и др. – Москва, 1985. – 266 с.
6. Suddeerpong A., Chai J., Shen S., Carter J. Deformation behaviour of clay under repeated one-dimensional unloading-reloading. (2015) Canadian Geotechnical Journal. 52(8): 1035–1044.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ АНДЕЗИБАЗАЛЬТОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ СЕРНОКИСЛОТНОМУ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ (ЮЖНО-КАМБАЛЬНОЕ ЦЕНТРАЛЬНОЕ ТЕРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ, КАМЧАТКА)

Никулина М.А.,

*магистрант МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация
Научный руководитель – Большаков И.Е., канд. геол.-минерал. наук, мл. науч. сотрудник*

Ключевые слова. Термальное поле, андезибазальты, гидротермальные изменения, сернокислотное выщелачивание.

Keywords. Thermal field, basaltic andesites, hydrothermal alteration, sulfuric acid leaching.

Гидротермальные системы содержат огромные промышленные запасы пара и высокотемпературных вод, которые служат основой для развития геотермальных электростанций, тепличных хозяйств, систем теплоснабжения. ГеоТЭС чаще всего располагают в районах с широко развитыми поверхностными разгрузками термальных вод и пара, таким образом, основаниями для самих станций и сопутствующих сооружений служат именно гидротермально измененные породы [1; 2]. Именно поэтому так необходимо изучать влияние на состав и свойства процессов гидротермального преобразования пород, пробовать моделировать природные процессы в лабораторных условиях. Объектом исследования данной работы являются андезибазальты Южно-Камбального Центрального термального поля.

Цель работы – изучить особенности изменения состава и свойств андезибазальтов исследуемого поля в условиях сернокислотного выщелачивания. Для достижения цели были поставлены задачи, связанные с исследованием природноизменных образцов; проведением экспериментов, моделирующих природные условия сернокислотного выщелачивания, определением влияния процесса сернокислотного выщелачивания

Материал и методы. В ходе полевых работ в районе Паужетской гидротермальной системы на Южно-Камбальном Центральном термальном поле в 2022 году были отобраны 4 образца андезибазальтов различной степени гидротермальных изменений: неизменный, слабоизмененный, среднеизмененный, опалит. Отбор проводился в северной уже остывшей части поля из трех неглубоких выработок глубиной до 80 см. Участок отбора находился приблизительно в 50 м от прогретой части поля.

Из образцов в общей сложности были изготовлены 54 цилиндрические пробы. Для всех проб были определены следующие показатели физических и физико-механических свойств грунтов: плотность твердой компоненты (ρ_s) с помощью прибора В. Я. Калачева, скорость распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии, магнитная восприимчивость (χ_{cp}), рассчитаны плотность воздушно-сухого грунта (ρ), динамический модуль упругости ($E_{дин}$) и коэффициент Пуассона (μ), прочность на одноосное сжатие в сухом (R_c) и водонасыщенном ($R_{св}$) состоянии, прочность на растяжение в сухом и водонасыщенном состоянии (R_p), коэффициент размягчаемости ($K_{разм}$), степень водопоглощения ($Wп, \%$), общая (n) и открытая пористость ($n_o, \%$). Все определения проводились по стандартным методикам [3]. Параллельно

с определением свойств были изучены особенности пустотного пространства с использованием микротомографа Yamato TDM-1000, все образцы описаны в шлифах с помощью оптического микроскопа «Olympus BX-41», определён минеральный состав посредством рентгенодифракционного анализа (прибор Ultima-IV). Для исследования свойств образцов, измененных в лабораторных условиях, была выполнена серия экспериментов, приближенная к условиям сернокислотного выщелачивания на Южно-Камбальном Центральном термальном поле. На образцах неизмененного андезибазальта проведены 16 лабораторных экспериментов: пробы, были термически обработаны в 10% растворе серной кислоты при температурах 20°C, 50°C, 100°C, 170°C в течение 1, 3, 7 и 14 суток. Для лабораторно преобразованных проб определены те же самые характеристики, что и для натуральных, а также рассчитано количество кислоты, прореагировавшее в ходе реакции.

Результаты и их обсуждение. В образцах, преобразованных в природных условиях, с увеличением степени изменения наблюдается развитие трещиноватости, усложняется конфигурация трещин, характерно новое минералообразование (опал, кристобалит). Многие зерна становятся «изъеденными» – замещенными другими минералами, на конечной стадии (опалит) изменения вещества основной массы полностью представлены опалом и небольшим количеством серы; порода становится сильно пористой. Похожим образом происходят изменения на микроуровне и для лабораторно изменённых проб, термически обработанных в течение 14 суток при различной температуре. Наблюдается развитие пористости, поры зачастую угловаты, пересекают зерна, а на конечной стадии много пор, и она практически полностью представлена аморфным веществом – опалом. Пробы натурно преобразованных андезибазальтов отличаются по своим свойствам в зависимости от степени изменения (от неизменных андезибазальтов к серным опалитам) (рисунок 1). С увеличением степени изменения уменьшается значение плотности: наибольшую имеют неизменные образцы (2,64 г/см³), наименьшую – опалиты (1,35 г/см³). Скорости продольных и поперечных волн в целом уменьшаются с увеличением степени преобразования ($V_p = 4,68 - 3,58 - 2,56 - 1,10$ км/с), ($V_s = 2,10 - 1,86 - 1,26 - 0,61$ км/с). Также уменьшается и динамический модуль упругости, пределы прочности на сжатие и растяжение в сухом и водонасыщенном состоянии, магнитная восприимчивость, но при этом увеличивалась пористость. По коэффициенту размягчаемости неизменные ($K_{sof} = 0,71$), среднеизмененные андезибазальты ($K_{sof} = 0,62$) и опалиты ($K_{sof} = 0,24$) относятся к размягчаемым, слабоизмененные андезибазальты к неразмягчаемым ($K_{sof} = 0,98$).

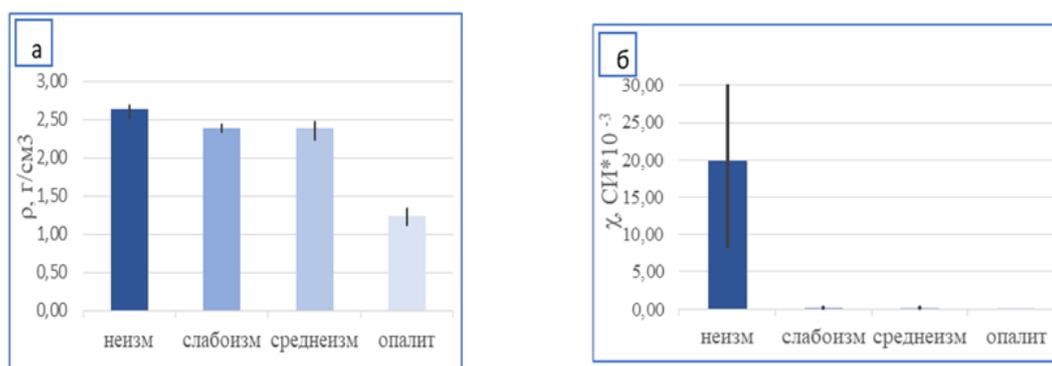


Рисунок 1 – Изменение показателей свойств андезибазальтов:
а) плотности, б) магнитной восприимчивости

Изменения, возникшие в пробах в результате термической обработки в модельном растворе, можно было наблюдать на макроскопическом уровне. Что касается изменения свойств, то по прошествии эксперимента авторы также наблюдали уменьшение определенных значений свойств. С увеличением длительности обработки и температуры проведения эксперимента в большей степени происходит потеря значений всех свойств. Так, например, наиболее показательны графики потери плотности от длительности экс-

перимента (рисунок 2) и количества прореагировавшей кислоты, где в первом случае зависимости носят логарифмический характер (исключая для 20 °С), во втором – практически линейный. Аналогичные зависимости могут быть получены для потери массы и магнитной восприимчивости. Для уменьшения остальных свойств зависимости носят чуть более хаотичный характер.

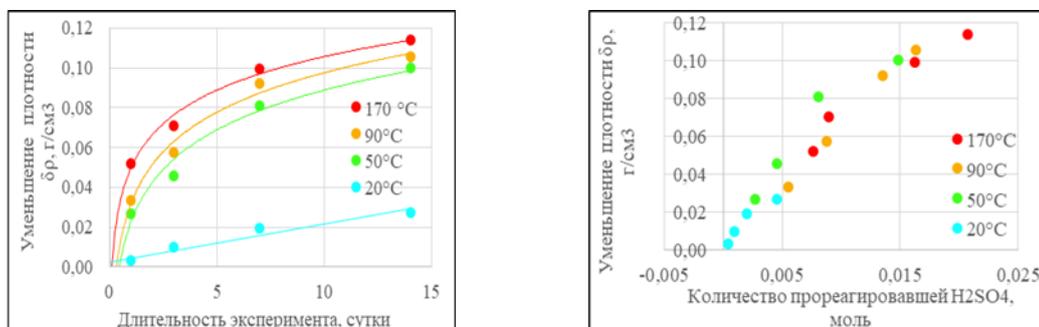


Рисунок 2 – Графики зависимости уменьшения плотности от длительности эксперимента и количества прореагировавшей H_2SO_4

Что касается особенностей изменения пустотного пространства, то для проб «кипятившихся» в течение 2 недель в процессе гидротермальной обработки характерно развитие дополнительных трещин, реакционной каймы в поверхностной зоне, в пределах которой наблюдалось разуплотнение. У пробы, обработанной при 170°C, трещины также проникали и во внутрь породы.

Заключение. В результате исследований была дана оценка характеру изменения состава и свойств андезибазальтов в условиях сернокислотного выщелачивания. Общие тенденции изменения свойств совпадают как для проб, измененных натурно, так и для лабораторно измененных проб – наблюдается потеря массы, плотности, магнитной восприимчивости, прочностных, деформационных характеристик. С увеличением степени изменения происходит образование новых минералов, уменьшение количества рудных компонентов, развитие трещин, пор, появление в значительной степени аморфного вещества на конечных стадиях. Изменение свойств коррелирует со временем обработки и с количеством прореагировавшей кислоты – чем больше длительность и температура обработки, тем в большей степени происходит уменьшение значений свойств

1. Белоусов В.И., Сугробов В.М. Геологическое строение и гидрогеологические особенности Паужеткой гидротермальной системы. – В кн. «Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки», Владивосток, 1976, с. 23–57.

2. Белоусов В.И., Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г. Геологическая и гидрогеотермическая обстановка геотермальных районов и термальных систем Камчатки – В кн. «Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки», Владивосток, 1976, с. 5–22.

3. Фролова Ю.В. Скальные грунты и методы их лабораторного изучения. М.: КДУ. 2015. – 222 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ ЗА ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА

Тимошенко В.А.,

*студент 4 курса БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Иванов Д.Л., доктор геогр. наук, доцент*

Ключевые слова. Ледовый режим, Западная Двина, ледостав, глобальное потепление.
Keywords. Ice regime, Western Dvina, freeze-up, global warming.

На протяжении последних десятилетий активное потепление климата оказывает существенное воздействие на гидрологический режим территории Беларуси. Особый