

МОДИФИКАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНОЙ ГЛИНЫ ХЕМОЛИТОТРОФНЫМИ ОРГАНИЗМАМИ В НАСЫЩЕННОЙ УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ АТМОСФЕРЕ

О.А. Софинская, Р.М. Усманов, Л.М. Маннапова

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, ushik2001@mail.ru

При вовлечении литосферы в техногенез остаются мало изученными сопутствующие биогеохимические процессы, развивающиеся на контакте газовой, твердой и жидкой фаз грунта. В зонах техногенеза эти процессы далеки от стационарных и могут приводить к динамике поведения под нагрузкой, эрозионной устойчивости, растворимости, барьерных и других функций грунтов (Cuadros, 2017). Цель работы заключалась в экспериментальном исследовании свойств карбонатно-глинистого грунта, измененных под действием микроаэрофильной хемолитотрофной микрофлоры.

Карбонатная глина отобрана из делювия на пестроцветных глинах пермской системы с глубины 1,5-2,0 м на водоразделе рек Волги и Свияги и на 12 % состояла из кальцита. Психрофильные хемолитотрофы, характерные для карбонатных комплексов пород, были смыты в виде спор с вторичных натечных образований кальцита и гипса в кальцит-доломитовой породе, извлеченных из Юрьевской пещеры, правобережье р. Волга, Республика Татарстан. Были сконструированы экспериментальные сосуды, минимизирующие контакт микрофлоры грунта с аэрозолями внешней среды и дающие возможность контроля веществ, вымываемых из грунта. Глину измельчали, просеивали через 0,25 мм, набивали в экспериментальные сосуды, создавая плотность 1,567 г/см³ и пористость сухого грунта 0,39, придавливали пористым керамическим диском, который одновременно препятствовал всплыванию частиц, равномерно распределял воду и служил источником микробной биомассы. Диск был предварительно инкубирован 21 день со смывом пещерной микрофлоры в питательной среде R2A, стимулирующей переход в вегетативную фазу ослабленных клеток из бедных сред, при температуре +14 ± 2 °С (D'Angeli et al., 2017). Грунт в установках насыщали водой, дожидались установления фильтрации и запускали циркуляцию по замкнутому циклу. Скорость фильтрации с помощью насоса задавалась на уровне 4,4*10⁻⁸ м/с. Установки термостатировали при температуре +12 ± 2 °С в течение 9 недель. Экспериментальные варианты включали условия (табл. 1): «К» - контрольный вариант без заражения в нормальной атмосфере, «Ксо₂» – аналогичный первому, но в атмосфере с генерацией СО₂, «З» - со стимулированной микрофлорой в нормальной атмосфере и «Зсо₂» – со стимулированной микрофлорой в атмосфере с генерацией СО₂. Генерация СО₂ осуществлялась с помощью газогенерирующих пакетов «Анаэрогаз» (16% СО₂ и 1% Н₂) после создания начального разрежения воздуха в экспериментальных установках.

В эксперименте проводили: компрессионные и сдвиговые испытания, определение физических и физико-химических характеристик, минералогического состава, содержания органического вещества грунтов, групповых гидрогеохимических показателей фильтрата. К определению свойств грунтов применялись стандартные методы. Деформационные испытания проводились с использованием комплекса ASIS 3.2 (Геотек, Россия). Фильтрат анализировали с помощью приборов серии «Эксперт»

(«Эконикс-Эксперт», Россия). Контактные углы смачивания оценивались методом прикрепленного пузырька по авторской методике (пат. РФ № 2744463).

Таблица – Параметры грунтов в эксперименте

Вариант	Пористость до компрессии	Коэффициент сжимаемости под нагрузкой 800 кПа	Деформация набухания, %Δh	Влажность под нагрузкой, % вес.	I _{под} нагрузкой
исходный	0.556	-	28.3	26	-0.35
«К»	0.649	0.00088	28.8	34	0.12
«З»	0.654	0.00099	34.4	35	0.26
«Ксо ₂ »	0.626	0.00092	28.0	34	0.35
«Зсо ₂ »	0.673	0.00108	32.0	31	0.06

Глинистый компонент грунта преимущественно состоял из смешаннослойной минеральной фазы иллит-монтмориллонитового состава, на что указывает широкий диагностический рефлекс в области углов 12,0-14,0 Å с асимметрией в сторону малых углов. В качестве примеси присутствуют мусковит, дающий на рентгеновских спектрах отражения $d=10,0$, $d=5,00$, $d=3,33$ Å, и хлорит, дающий диагностические отражения $d=7,00$, $d=4,73$ $d=3,36$ Å. Грунт сильно набухал (таблица). Под нагрузкой 0,8 МПа при отжиме воды грунт приобретал полутвердую консистенцию (показатель текучести $0 < I_t < 0,25$). Наличие хемолитотрофной микрофлоры и малых концентраций органических стимуляторов ($4 \cdot 10^{-6}$ г/г) привело к тому, что под нагрузкой образец перешел в пластичную консистенцию, и увеличилась его сжимаемость (вариант «З»). При повышенной концентрации СО₂ деформация набухания увеличилась на 3% в варианте «Зсо₂» относительно варианта «К». Сжимаемость грунта в варианте «Зсо₂» была наибольшей, что привело к переходу грунта под нагрузкой в консистенцию, близкую к твердой. Во всех вариантах появились участки грунта с пониженной смачиваемостью, что, согласуется с ростом содержания органического вещества, окисляемого дихроматом калия, с $2,3 \cdot 10^{-3}$ (исходный грунт) до $4,0 \cdot 10^{-3}$ г/г (вариант «З»). Участки с пониженной смачиваемостью говорят о дезинтеграции частиц, что подтверждается появлением микроагрегатов размером 5-50 мкм за счет размера 50 мкм и более. В составе фильтрата вариантов «З», «Ксо₂» и «Зсо₂» наблюдалась повышенная концентрация Mg²⁺, что согласуется с его биофильностью (Cuadros, 2017). В варианте «Ксо₂» отмечены сильное повышение минерализации (2258 против 260 мкСм/см в варианте «К») и снижение рН фильтрата. В варианте «Зсо₂» микробное сообщество несколько замедляло растворение карбонатов (2108 мкСм/см). Сформированные в опыте обстановки ограничивались с одной стороны рН 7,69, Eh +0,140 В («З»), а с другой - рН 6,37, Eh +0,038 В («Ксо₂»), что в целом характерно для грунтовых вод, поэтому наблюдаемые процессы вероятны в условиях грунтового массива на разных глубинах. Учитывая проявление названных эффектов при низкой концентрации биомассы, можно предположить, что все они связаны с изменением поверхностных свойств грунта и будут усугубляться при увеличении дисперсности твердой фазы, концентрации органических веществ и времени его взаимодействия с грунтом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-05-00151 А.

Список литературы

- Cuadros J. Clay minerals interaction with microorganisms. Clayminerals. 2017. 52. Pp. 235-261
- D'Angeli I. M., Serrazanetti D. I., Montanari C., Vannini L., Gardini F., De Waele J. Geochemistry and microbial diversity of cave waters in the gypsum karst aquifers of Emilia Romagna region, Italy. Science of the Total Environment. 2017. 598. Pp. 538–552.
- Галеев А. А., Софинская О. А. Патент РФ № 2744463. Бюл. изобр. 2021. 7.