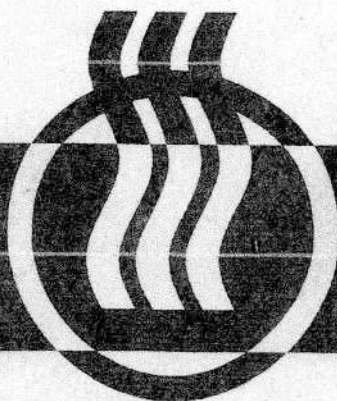


ТЕПЛОМАССООБМЕН ММФ-96

ТОМ VII



MIF-96
HEAT/MASS TRANSFER

Академия наук Беларуси
АНК "Институт тепло-
и массообмена им. А. В. Лыкова"

ТЕПЛОМАССООБМЕН-
ММФ-96

HEAT / MASS TRANSFER-
MIF-96

III Минский международный форум
(20-24 мая 1996 г.)

Том VII

ТЕПЛОМАССООБМЕН В КАПИЛЛЯРНО-
ПОРИСТЫХ ТЕЛАХ

Минск 1996

Э.Д.Ершов, Е.М.Чувилин, В.С.Якушев

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ДИСПЕРСНЫХ ПОРОДАХ
ПРИ ГИДРАТООБРАЗОВАНИИ

Появившиеся в последнее время данные о значительных скоплениях газовых гидратов в субаквальных отложениях, а также в толщах мерзлых пород позволяют предположить большую роль процессов тепло- и массопереноса при гидратообразовании. Образуюсь в дисперсных отложениях, газогидраты, как и лед, цементируют их, формируя породы, сходные с мерзлыми. При этом процесс гидратообразования в грунтах имеет определенную аналогию с их промерзанием. Однако в отличие от промерзания, гидратообразование в горных породах изучено крайне слабо [1]. Особенно это касается процессов тепло-массопереноса, исследование которых требует проведения физического моделирования. Такое моделирование нами проводилось в барокамере, обеспечивающей статические условия гидратообразования.

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальная установка по гидратообразованию, использованная в данной работе, детально была описана ранее [1,2]. Основой ее служила барокамера, которая обеспечивала статические условия гидратообразования. Методика получения гидратонасыщенных образцов грунта основывалась на учете факторов природной среды, которые задавались через термобарические условия, состав и строение грунтовых масс. Она включала следующие этапы: подготовку грунта, загрузку его в камеру и насыщение газом, подъем давления до 7-8 МПа и охлаждение с последующим гидратообразованием при температуре $+2...+4^{\circ}\text{C}$. Объектом исследования служили пески различного гранулометрического состава. Исходная влажность их задавалась равной 5, 10, 15%. В качестве газа гидратообразователя использовался метан с чистотой 99,99%. Необходимый температурный режим в барокамере задавался с помощью холодильной установки. В течение всего эксперимента проводился замер давления газа в баро-

камере и температуры в образце, что позволяло проследить динамику изменения T и P во времени, а также зависимость P, T -условий для исследованных образцов. Во всех экспериментах по гидратообразованию наблюдалось закономерное снижение давления при понижении температуры. При этом четко выделялся участок резкого падения давления и относительной стабилизации температуры, что соответствовало области интенсивного гидратообразования. Особенно ярко это прослеживалось в образцах с высокой влажностью, где происходили значительные фазовые переходы воды в гидрат. После стабилизации давления, что являлось показателем окончания процесса гидратообразования, образцы гидратосодержащего песка охлаждались до температуры $-6 \dots -7^{\circ}\text{C}$ и выдерживались в течение 10–16 часов. Затем давление в барокамере сбрасывалось до атмосферного, барокамера открывалась, из нее извлекался мерзлый гидратосодержащий образец грунта, который подвергался детальному описанию, послойному определению влажности, плотности и газо- и гидратосодержания. Исследования упрощались тем, что ранее обнаруженный эффект самоконсервации газогидратов при отрицательной температуре позволял изучать полученные образцы с помощью методик, разработанных для мерзлых пород [3, 4].

Эффект самоконсервации газогидратов, заключающийся в затухании процесса диссоциации газогидрата при снижении внешнего давления ниже равновесного, отмечался у всех исследованных мерзлых образцов. При быстром открывании экспериментальной установки при отрицательной температуре часто отмечалось характерное шипение, свидетельствующее о частичном поверхностном разложении газогидрата в образцах, однако через 1–2 мин шипение прекращалось и дальнейшее выделение газа не отмечалось. Это соответствовало моменту полной консервации гидратов за счет образования изолирующей пленки льда, что фиксировалось и на термограммах. Хранение полученных образцов при температуре -6°C в течение нескольких дней не выявило заметных изменений в гидратосодержании и в их строении.

Результаты эксперимента и их анализ

Проведенный анализ экспериментальных данных показал, что формирование газовых гидратов в грунте происходит как в поровом пространстве с образованием гидратного цемента, так и в локальных

зонах в виде порфировидных и линзовидных включений. Кроме того отмечено образование газогидратных наростов на торцах образцов в виде "шапок". Неравномерное образование газовых гидратов в образцах песчаных пород связано прежде всего с перераспределением начального влагосодержания, что обусловлено условиями гидратообразования в поровом пространстве образца и его торцевой части, а именно проницаемостью среды для газа и воды, а также условиями деформирования грунта при росте газовых включений.

Измерения плотности и влажности грунта после гидратообразования показали, что наибольшая плотность характерна для центральных, наиболее обезвоженных частей. Это находит отражение в изменении структуры грунта. В местах интенсивного гидратонакопления происходит разуплотнение грунта и формирование гидратных текстур, в то время как в местах, откуда идет миграция влаги, грунт либо сохраняет свою плотность, либо увеличивает ее.

Характер перераспределения влаги зависит от начальной влажности. Отмечено, что для среднезернистого песка с начальной влажностью 5% перераспределение влаги практически не наблюдается. Повышение начальной влажности до 10% вызывает значительное увеличение перераспределения влаги, причем разница между минимальными значениями в центре образца и максимальными в торцевой части достигает 25%. Эта разница увеличивалась до 30% при повышении начальной влажности до 15%.

Таким образом, очевидно, что повышение начальной влажности увеличивает перераспределение влаги. Это приводит к увеличению накопления газовых гидратов в виде "шапок" на торцах образца. Однако гидратосодержание внутри образца в зависимости от влажности меняется неоднозначно. При повышении влажности от 5 до 10% наблюдается увеличение гидратосодержания в образце. Дальнейшее повышение влажности вызывает снижение гидратосодержания внутри образца вследствие уменьшения его проницаемости для газа. Подобные результаты получены и для образца мелкозернистого песка. Однако в последнем отмечено более интенсивное перераспределение влаги после опыта и более мощная гидратная "шапка" на торцах образца. Кроме того, в мелкозернистом песке содержание гидрата внутри образца значительно ниже по сравнению со среднезернистым.

это обусловлено, с одной стороны, уменьшением размера пор в мелкозернистом песке и, соответственно, повышением степени заполнения пор влагой и уменьшением газовой проницаемости грунта, с другой — увеличением миграционной способности влаги.

В целом результаты проведенных исследований показали, что процесс гидратообразования в песчаных породах тесно связан с их дисперсностью и изначальным влагосодержанием, которые определяют условия массообмена. Влияние влажности носит экстремальный характер. Для каждого песчаного грунта значение влажности, при которой наблюдается наибольшее гидратообразование внутри образца, различно. Повышение дисперсности песка от мелко- к среднезернистым увеличивает гидратосодержание внутри образцов и вносит большее разнообразие в морфологию гидратных включений и их текстуру. При накоплении газогидратов в песчаных породах имеет место миграция влаги и газа к местам активного роста гидратных образований. Вода мигрирует в паровом и жидком состоянии, причем, по-видимому, преимущественный перенос влаги происходит в жидком состоянии. Присутствие в песчаных породах тонкодисперсного материала снижает возможности гидратообразования, затрудняет влагоперенос и газообмен внутри породы.

Данные исследования выполнены при поддержке международного научного фонда /грант NS-6300/.

Л и т е р а т у р а

1. Истомин В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. — М.: Недра, 1992. — 236 с.
2. Ershov E.D., Lebedenko Yu.P., Chuvilin E.M., Yakushev V.S. Peculiarities of gas hydrate formations in sands // Proc. 6-th Intern. conf. Permafrost. — Proceedings Beijing, China. — 1993. — P.160-163.
3. Ершов Э.Д., Лебедеенко Ю.П., Чувилин Е.М., Якушев В.С. Экспериментальные исследования микростроения агломерата лед-гидрат метана // Инж.геол. — 1990. — №3. — С.38-44.
4. Ершов Э.Д., Лебедеенко Ю.П., Чувилин Е.М., Истомин В.А., Якушев В.А. Проблемы устойчивости газовых залежей в криолитозоне // Вестн. Моск. ун-та. — Сер.4. — Геология. — 1992. — №5. — С.82-87.