

# ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИГРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ

И.А. Родькина

Гигрометрический метод количественного определения связанной воды нашел широкое применение в отношении дисперсных грунтов, тогда как по отношению к скальным породам практически нет работ с использованием этого метода. Однако достаточно часто исследователям необходимо для понимания процессов происходящих в скальных грунтах определить количество именно связанной или максимально возможное (когда грунт залегает на каком то расстоянии от поверхности) количество связанной воды. Таким образом, данная работа была направлена на изучение возможности применения гигрометрического метода по отношению к скальным грунтам.

Гигрометрический метод основан на том, что формирование связанной воды в горных породах происходит за счет непосредственного взаимодействия молекул воды с поверхностными адсорбционными центрами твердой фазы минералов [1, 2].

*Методика эксперимента.* На дно эксикатора наливают различные водные растворы электролита, над которыми в замкнутом объеме эксикатора устанавливается определенное (заранее известное) давление водяного пара  $P/P_s$  (где  $P$  — давление паров воды, находящихся в равновесии с горной породой при данной температуре;  $P_s$  — давление насыщенных паров воды при той же температуре). Величина  $P/P_s$  меняется в пределах от 0 (для абсолютно сухого воздуха) до 1 (для предельно водонасыщенного воздуха) [4]. Поместив в эксикатор над уровнем раствора исследуемый образец и определив после установления равновесия его влажность при данном  $P/P_s$ , получают строго заданную точку для построения изотермы. Затем этот же образец переносят в другой эксикатор (с другим известным значением  $P/P_s$ ), получают вторую точку и т.д. для всего диапазона изменения значений  $P/P_s$ . В итоге строят изотерму адсорбции в координатах  $W=f(P/P_s)$ , по которой затем определяют влажностные константы связанной воды для данной породы. Изотерма адсорбции при этом обычно имеет характерную S-образную форму. Сначала при росте  $P/P_s$  (примерно до 0,05) влажность увеличивается практически линейно. Затем, линейность нарушается, и в интервале  $0,05 < P/P_s < 0,35$  кривая выпукла относительно оси  $P/P_s$ . Считается, что при достижении горизонтального участка создается влажность, соответствующая монослою воды ( $W_m$ ). Однако, выделить этот участок чрезвычайно сложно, он не приурочен к какому-то конкретному значению  $P/P_s$ , и определяется или же по графику, если пик очевиден или же математическим расчетом. Таким образом, область значений  $P/P_s$  от 0,05 до 0,35 это область формирования

мономолекулярной пленки воды по внутренней и внешней поверхностям грунта. При дальнейшем повышении  $P/P_s$  в области давлений паров воды от  $0,3 \div 0,4$  до  $0,6 \div 0,9$  следует второй линейный участок (иногда его называют второй областью Генри) соответствующей области полимолекулярной адсорбции ( $W_p$ ). Здесь уже формируется полимолекулярная пленка воды, сначала по внутренней поверхности, а затем по внешней [4, 5].

В области значений  $P/P_s = 0,6 \div 0,9$  кривая круто уходит вверх: при небольшом увеличении относительного давления паров влажность породы начинает очень быстро увеличиваться. Завершается процесс адсорбции влаги и начинает интенсивно развиваться уже другой процесс — процесс капиллярной конденсации [1, 5].

Для проведения эксперимента было отобрано 19 образцов пород БС из керна скважин, расположенных в пределах нижневартковского свода Западной Сибири. Все образцы пород БС перед началом измерений высушивались в течении 3-х суток при температуре  $105\text{ }^\circ\text{C}$  до достижения постоянной массы. Для проведения экспериментов было подготовлено 11 эксикаторов, в каждый из которых заливался тот или иной раствор электролита (раствор соли), создающий различные  $P/P_s$ , в интервале от 0,1 до 1,0 [3]. Приготовленный насыщенный раствор соли заливался на дно эксикатора ниже подставки, на которую в открытых бюксах помещались образцы исследуемых грунтов, а также датчик температуры и влажности. По результатам гигрометрических испытаний были построены изотермы адсорбции. Все эксперименты проводились с 3-кратной повторностью, разница полученных данных на одном и том же образце при одном и том же значении  $P/P_s$  составила менее 3 отн.%.

*Обсуждение результатов и выводы.* На рис. 1 приведен общий вид всех полученных изотерм адсорбции.

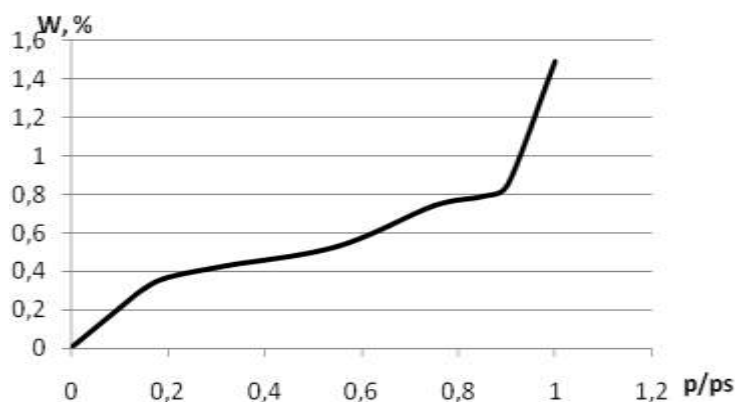


Рис. 1. Общий вид полученных изотерм адсорбции

Исходя из рисунка видно, что все полученные изотермы имеют ярко выраженную S-образную форму. На изотермах выделяются две точки перегиба. Первая при значениях  $P/P_s$  примерно 0,2 и соответствующая количеству воды монослойной адсорбции. Вторая точка перегиба наблюдается при значении  $P/P_s$  равном 0,9 и соответствующая влажности воды полислойной адсорбции. При этом стоит подчеркнуть, что подобные графики получены для всех образцов, при этом полученные значения влажности практически не отличались (не более 3 отн.%) у параллельных образцов не смотря на то что параллельные образца отличались по весу и геометрии поверхности.

Таким образом, можно сделать выводы, что гигрометрический метод определения связанной воды может использоваться для скальных грунтов. Более того, результаты не зависят или зависят не значительно от размера образца и его геометрии (наличия сколов, выступов, трещин). Однако следует подчеркнуть, что все исследованные образцы были однородны, не было слоистости, прожилок, точечных следов ожелезнения и т.д., наличие которых скорей всего не дало бы столь однозначных результатов.

#### Использованная литература

1. Грунтоведение / Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Под ред. В.Т. Трофимова. 6-е изд., переработ. и доп. – М.: Изд-во МГУ. 2005. - 1024 с
2. Королев В.А. Связанная вода в горных породах новые факты и проблемы. // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 9. С. 79-85.
3. Никольский Б.П. Справочник химика. Том 3. (Химические равновесия и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы). М. - Химия. 1966. 1008 с.
4. Шеин Е. В. Курс физики почв: Учебник-М. - Изд-во МГУ. 2005. 432 с.
5. Smagin A.V. Physically Based Mathematical Models of the Water Vapor Sorption by Soils. // *Eura-sian Soil Science*, 2011. Vol. 44. № 6. P. 659–669