

---

# МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОСОДЕРЖАНИЯ В НАБУХАЮЩИХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ НА ПРИМЕРЕ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

**Р.М. Усманов, М.Г. Храмченков**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, [almightyhero@mail.ru](mailto:almightyhero@mail.ru)*

Важнейшей областью для инженерно-хозяйственной деятельности является зона аэрации. Механизм движения подземных вод в этой зоне на порядок сложнее чем в зоне полного водонасыщения. Это обусловлено усложнением взаимодействия разных фаз, увеличения роли воздушной фазы, в связи с ее большим содержанием по сравнению с зоной условно полного водонасыщения. Особенно сильно разница проявляется в глинистых породах, их свойства особенно чувствительны к изменению физико-химических параметров.

В условиях неполного водонасыщения большое значение имеет степень насыщения породы водой, однако этот параметр не напрямую отражает потенциал движения воды в породе, а через сопряженный параметр - потенциал воды (В.А.Королев, 2016) или капиллярно- адсорбционный потенциал( $\Psi$ ).

Для удобства восприятия необходимо ввести соотношение предложенное Б.В.Дерягиным и являющиеся ключом для понимания распределения давлений в тонких порах глинистых пород. В уравнениях описывающих движение воды в глинах часто используется три понятия -  $p$  (давление влаги),  $\Psi$ (капиллярно-адсорбционный потенциал) и введенный Б.В.Дерягиным  $\Pi(h)$ (расклинивающее давление воды). По сути все они описывают распределение энергии в системе. Эти величины эквивалентны и связаны соотношением:

$$\Pi(h) = -p = \rho g \Psi, \quad \Psi = h_t \quad (1)$$

$\rho$  - плотность воды(гр/м<sup>3</sup>),  $p$  - капиллярное давление (удерживающее воду вблизи твердой поверхности частиц, МПа),  $g$  - ускорение силы тяжести(м/с<sup>2</sup>),  $h_t$  -высота капиллярного поднятия.

Кроме того, перемещение влаги в ненасыщенных условиях подчиняется модифицированному закону Дарси

$$\vec{v} = -k_w \nabla H, \quad H = z - \psi \quad (2)$$

где  $H$  - напор в зоне неполного насыщения. Это соотношение вместе с уравнением баланса массы фильтрующейся влаги дает возможность определить любой параметров движения воды в глинах по высоте капиллярного поднятия. В ходе ненасыщенной фильтрации в набухающих грунтах приходится принимать во внимание изменение пористости грунта за счет набухания глинистых агрегатов, поэтому следующее из закона Дарси (2) и уравнения баланса массы влаги уравнение Ричардса имеет вид

$$n \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ \frac{k_w}{\rho g} \frac{\partial}{\partial z} (p - \rho g z) \right], \quad p = \Pi(h), \quad h = z + \psi \quad (3)$$

---

Здесь:  $n$  - пористость,  $s$  – водонасыщенность,  $z$  - вертикальная координата,  $k_w$  - коэффициент влагопереноса,  $n_c$  - доля объема, занятая влагой, содержащейся в набухающей фазе минеральной (органо-минеральной) составляющей,  $h$  - толщина водной пленки в набухающей фракции минеральной (органо-минеральной) фазы,  $u_c$  - удельная поверхность частиц набухающей фракции;

Критерием выбора метода для определения капиллярного поднятия в набухающих глинистых породах послужила простота проведения экспериментов и традиционность методики, проверенной временем. Исследуемый образец помещался в стеклянную трубку, запаянную с одной стороны и имеющую хорошо проницаемый фильтр с дугой. Торец стеклянной трубки с фильтром погружался в воду так, чтобы поверхность воды совпадала с нижней границей забивки глины. Трубка выставлялась строго вертикально. В момент начала пропитки породы, визуально определяемому по смене цвета породы у фильтра, запускается отсчет времени. Далее производился замер скорости поднятия. За высоту поднятия принималось расстояние от поверхности воды до визуально определяемой контрастной границы перехода увлажненной породы в сухую (3). После завершения испытания трубка с образцом взвешивалась для определения общего объема воды поступившей в глину. Параллельно проводилось до 9-10 испытаний для каждого образца грунта. Основным критерием выбора образцов была высокая степень набухания.

Обычно капиллярный подъем в глинистых грунтах описывается моделями, учитывающими движение влаги по порам (капиллярам) разных размеров (И.И.Судницын, 2006). В случае капиллярного подъема в набухающих породах необходимо учитывать как неоднородность капилляров по размерам пор, так и изменения их размера. Решение задачи (3) позволяет моделировать механизм влагосодержание в набухающих глинистых грунтах наиболее точно.

*Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной НИИСИ для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (проект 0065-2018-00015), а также при поддержке гранта РФФИ №19-29-05006.*

Королев В.А. Термодинамика грунтов./ Учебник, 2-е изд. –Москва, 2016. -258 с

Galiullina N. E., Khranchenkov M. G. Mathematical models of mass transfer processes in soils with account of their interaction with rainfall // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2017. – Vol. 90. – No. 4. – P. 817 – 825.

Derjaguin B. V., Churaev N. V., Muller V. M. Surface Forces. – Consultants Bureau, New York, 1987.

Brooks R. H., Corey A. Hydraulic properties of Porous Media. - Colorado State University Hydrology, 1964.

Судницын И. И. Экологическая гидрофизика почв: Часть 1. – М.: МАКС Пресс, 2006.