

## МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 624.131.43, 624.131.522

### МОДЕЛЬ МАССОПЕРЕНОСА В АГРЕГИРОВАННЫХ ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

© 2013 г. М. Г. Храмченков, Р. П. Федорин

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,**ул. проф. Нужина, 1/37, Казань, 420008 Россия.**E-mail: Maxim.Khratchenkov@ksu.ru*

Поступила в редакцию 14.11.2011 г.

После исправления: 12.01.2012 г.

Работа посвящена вопросам, связанным с необходимостью развития феноменологической модели физико-химической механики глин как агрегированных пористых сред. Получены уравнения массопереноса в рамках модели физико-химической механики агрегированных пористых сред как простейших фильтрационных моделей глин. Приводится реализация модели массопереноса в агрегированных пористых средах в соответствии с данными эксперимента. Полученные результаты качественно согласуются с основными характеристиками этого процесса, выявленными экспериментально, а также позволяют оценить влияние различных факторов.

**Ключевые слова:** *бипористая среда, массоперенос, фильтрация, давление, концентрация примеси, коэффициент гидродисперсии, деформирование глины.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Обычно массоперенос в глинах количественно рассматривается в рамках концепции массопереноса в т.н. бипористых средах (модели Г.И. Баренблатта) [1]. В соответствии с этой концепцией, к бипористой относится такая среда, в которой одна система пор, обычно называемых трещинами, является хорошо проницаемой, а вторая, обычно называемая блоками, – слабопроницаемой. При этом уравнение переноса примеси в такой среде без учета конвективной диффузии (гидродисперсии) описывается уравнениями [1]

$$\begin{aligned} m_1 \frac{\partial C_1}{\partial t} + \mathbf{q}_1 \cdot \nabla C_1 + \gamma_c (C_1 - C_2) &= 0, \\ m_2 \frac{\partial C_2}{\partial t} + \mathbf{q}_2 \cdot \nabla C_2 &= \gamma_c (C_1 - C_2). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $m_1, m_2$  – пористость “трещин” и “блоков” соответственно,  $C_1, C_2$  – концентрация примеси в “трещинах” и “блоках” соответственно,  $\mathbf{q}_i, i = 1, 2$  – вектор скорости фильтрации в “трещинах” и “блоках” соответственно,  $\gamma_c$  – постоянная скорости массообмена между “трещинами” и “блоками”. Та же самая модель используется для описания распределения давления  $p_i, i = 1, 2$

в “трещинах” и “блоках” формальной заменой  $C_i, i = 1, 2$  на  $p_i, i = 1, 2$ , и постоянной  $\gamma_c$  на постоянную  $\gamma_p$ .

В частном случае модели Г.И. Баренблатта, конвективным переносом вещества за счет фильтрации в блоках пренебрегают, полагая  $\mathbf{q}_2 = 0$ . Тогда уравнения (1) принимают вид

$$\begin{aligned} m_1 \frac{\partial C_1}{\partial t} + \mathbf{q}_1 \cdot \nabla C_1 + \gamma_c (C_1 - C_2) &= 0, \\ m_2 \frac{\partial C_2}{\partial t} &= \gamma_c (C_1 - C_2). \end{aligned} \quad (2)$$

Модель (2) пользуется большой популярностью в силу кажущейся естественности ее физического смысла. Однако основным недостатком как модели (1), так и особенно модели (2) является тот факт, что, во-первых, остается скрытым физический механизм быстрого выравнивания концентрации  $C_2$  в составе блоков, поскольку из-за слабой проницаемости “блоков” такой процесс должен протекать за достаточно большое время. Во-вторых, опыт использования моделей (1) и (2) показал, что нельзя считать  $\gamma_c$  и  $\gamma_p$  постоянными в течение всего времени процесса. Именно послед-