

**ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ, СВЯЗАННЫХ С ОСАДКАМИ**
**PHYSICAL JUSTIFICATION OF PROCESSES OF ACCUMULATION
IN THE SOIL OF POLLUTANT SUBSTANCES ASSOCIATED WITH PRECIPITATIONS**

Р. М. Невар
R. Nevar

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
scitaxapp@gmail.com
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Дается физическое обоснование процессу накопления загрязняющих веществ в почве, связанных с осадками. Рассматриваются процессы колюматации,

The paper provides a physical justification for the process of accumulation of pollutants in the soil associated with precipitation. The colmatation processes are considered.

Ключевые слова: накопление, загрязняющие вещества, колюматация.

Keywords: contaminants, deposition, colmatation.

При моделировании накопления загрязняющих веществ в почве в работе [1] учитывались следующие процессы: поступление/вымывание загрязняющих веществ с осадками; гравитационное осаждение поллютантов из атмосферы, их испарение, а также фоновые процессы, которые не учтены явно, но влияют на накопление поллютантов. Примером фоновых процессов могут быть поступление веществ с опавшей листвой и другим биоматериалом, зависимость от местных условий миграция, химические процессы в почве и т. п.

Как показывают расчеты [1], основной вклад в накопление загрязняющих веществ в почве вносит процесс поступления/вымывания загрязняющих веществ с осадками. Данный процесс был описан уравнениями простого массового баланса, где количество поступившего/вымываемого загрязняющего вещества из почвы считалось пропорциональным разности концентраций загрязняющего вещества в почве и в осадках в первой степени. Процессы вымывания/поступления веществ с осадками являются более сложными и требуют детального изучения. Рассматриваются процессы колюматации для описания накопления загрязняющих веществ в почве. Колюматация – процесс заполнения пустот в грунтах материалом, вносимым фильтрационным потоком.

Под фильтрацией понимается движение жидкости или газа через пористую среду. Пористая среда заключает в себе большое число соединенных между собой пустот (пор) или трещин. В основе теории фильтрации рассматривается закон Дарси, устанавливающий связь между потерей напора на единицу длины и расходом Q при прямолинейном движении жидкости в пористой среде:

$$Q = \frac{K_{\phi} \cdot \omega \cdot h}{L}, \quad (1)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации; L – длина пути фильтрации, на которой происходит потеря напора h ; ω – площадь нормального к движению жидкости поперечного сечения пористой среды.

Закон фильтрации может быть выражен в следующем виде:

$$v = \frac{K_{\phi} \cdot h}{L} = \frac{K_{\phi} \cdot (p_1 - p_2)}{\gamma \cdot L}, \quad (2)$$

где v – средняя скорость фильтрации, γ – вес единицы объема фильтрующейся жидкости; p_1, p_2 – пьезометрические давления.

Движение жидкости происходит не через всю площадь поперечного сечения, а только по поровым каналам, поперечное сечение которых равно S .

$$S = m \cdot \omega, \quad (3)$$

где m – пористость грунта. Таким образом, реальная скорость движения жидкости можно выразить через скорость фильтрации u как:

$$v = m \cdot u, \quad (4)$$

При фильтрации жидкости, содержащей твердые взвешенные частицы, происходит изменение основных физических свойств пористой среды – пористости, проницаемости и объемного веса [2]. Объем твердых взвешенных частиц a^* , проносимый в единицу времени фильтрационным потоком, равен:

$$a^* = A \cdot u, \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение кольматации получается при этом в виде:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = A \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (7)$$

Если принять за α – взвешенную массу твердого вещества, а ζ – насыщенность порового пространства осевшими частицами, то объемную концентрацию взвешенного твердого вещества в движущейся жидкости δ можно выразить следующим образом:

$$\delta = \frac{\alpha}{1-\zeta}. \quad (8)$$

Следовательно, для решения задачи, необходимо составить систему уравнений, которой бы удовлетворяли искомые функции ζ и δ .

С учетом обозначений, уравнение Дарси можно записать в виде [3]:

$$q(t) \frac{\partial \delta}{\partial t} = -B(t) \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \quad (9)$$

где $B(t) = \text{const}$, для постоянной скорости фильтрации.

Интенсивность кольматации $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ зависит от объемной концентрации δ твердого вещества в движущейся жидкости от истинной скорости движения жидкости в поровых каналах [2]:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = A_0 \frac{\sigma^{n1}}{u^{n2}}. \quad (10)$$

Экспериментальным путем установлено, что [2; 3]:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{A_0}{u_0} \delta (1 - \zeta). \quad (11)$$

Уравнения 9 и 11, решаются при следующих граничных условиях: $\zeta = 0$ при $t = 0$, $\delta = \delta_0$ при $x = 0$ [2]. В таком случае решение будет иметь вид:

$$\zeta = \frac{e^{A\delta_0 t} - 1}{e^{A\delta_0 t} + e^{ABx} - 1}. \quad (12)$$

Коэффициенты ζ и δ прямо пропорциональны концентрациям загрязняющих веществ в осадках C_{oc} и в почве $C_{п}$. Глубину измерений x будем считать постоянной для всех станций мониторингов. В таком случае уравнение (12) может быть переписано через концентрации C_{oc} и $C_{п}$:

$$C_{п}(t) = C_{п,0} \frac{e^{A' C_{oc} t} - 1}{e^{A\delta_0 t} + B'}. \quad (13)$$

Данное уравнение имеет практическое применение. Коэффициенты A' и B' для различных типов почв могут быть определены из экспериментальных данных со станций мониторинга, что позволит спрогнозировать процессы накопления загрязняющих веществ для локальных случаев.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванюкович, В. А.* Прогноз накопления загрязняющих веществ в почве / В. А. Иванюкович, Р. М. Невар // Информационные технологии, проблемы и решения. (Экология – 2017) / ФГБОУВО «Уфимский гос. нефтян. технич. ун-т»; редкол.: Р. Н. Бахтизин [и др.]. – Уфа: УГНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 253–256.
2. *Шехман, Ю. М.* Фильтрация малоконцентрированных суспензий. – М.: Изд. Академии наук СССР, 1961
3. *Избаиш, С. В.* Фильтрационные деформации грунта // Изв. НИИГ. – М., 1933. – № 10.