

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ НЕФТИ В РИЗО-СФЕРЕ РАСТЕНИЙ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОПРЕПАРАТОВ

Водопьянов В.В., Киреева Н.А.¹, Водопьянова Л.Л.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия, 450000,
Уфа, ул. К.Маркса, 12, (347)2730726, vodop@yandex.ru

¹Башкирский государственный университет, Россия, 450074, Уфа, ул. Заки Валиди, 32,
(347)2736712, vodop@yandex.ru

Для разработки методов управления процессом биологического разложения нефти $C(t)$ ($C_1(t)$ и $C_2(t)$ – фракции нефти, разлагаемые в основном биосферой растений и углеводородокисляющими микроорганизмами – УОМ) проводилось изучение влияния внесения биостимулятора Белвитамил и консорциума (биопрепарат Деворойл) на численность УОМ $Y(t)$ в нефтезагрязненной почве, построение математической модели этих процессов при внесении биопрепаратов и их сопоставление. Для рассмотрения прогноза воздействия на процессы деструкции нефти при внесении в почву ассоциации УОМ был проведен численный эксперимент с системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dM}{dt} = M(t) \left(\alpha \frac{((S(t) + M_0) - M(t))}{K_1 + M(t)} - \beta \frac{((S(t) + M_0) - M(t))(C(t) - \gamma)}{(K_1 + M(t))(K_2 + C(t))} - \frac{\tau C(t)}{(t + 0,9)^4} \right), \\ \frac{dY}{dt} = \eta Y(t) \left(\frac{\beta_2 C_2(t)}{K_2 + C_2(t)} + \nu_1 S(t) - Y(t) - \kappa [\text{sign}(t - t_0) - \text{sign}(t - t_0 - \varepsilon)] \right), \\ \frac{dC_1(t)}{dt} = -C_1(t) \left(\lambda_1 M_0 + \frac{C_1(t)}{K_2 + C_1(t)} \cdot \left(\frac{\mu_1 M(t)}{K_1 + M(t)} + \frac{\mu_2 Y(t)}{K_3 + Y(t)} \right) \right), \\ \frac{dC_2(t)}{dt} = -\delta_2 C_2(t) - \delta_1 C_1(t) S(t), C(t) = C_1(t) + C_2(t) \\ S(t) = \frac{\alpha_1 \sin\left(\frac{\pi t}{6}\right) \cdot (\text{sign}[12 - t] + 1)}{1 + F(t)}, \\ F(t) = F_0 \exp\left(-\alpha_F C_0 \left[\frac{k\lambda}{\mu} (e^{-\lambda t} - 1) + \left(1 - \frac{k}{\mu}\right) \delta (e^{-\delta t} - 1) \right]\right). \end{array} \right.$$

Здесь во второе уравнение введено слагаемое, содержащее функцию сигнатура, которое учитывает внесение ассоциации УОМ в момент времени от t_0 до $t_0 + \varepsilon$. Концентрация питательных веществ $S(t)$, выделяемых в ризосферу растениями, описывалась с учетом сезонного роста и уровнем фитотоксичности почвы $F(t)$. Коэффициенты определяли скорости соответствующих реакций. Модель хорошо описывает динамику разложения нефти в течение 180 сут. эксперимента, где за начало принимается время появления всходов растения (в нашем случае - люцерны). Проведенные расчеты по модели, а также ее сравнение с экспериментальными данными, показывают, что именно в ризосфере растений за вегетационный период происходит почти полное разложение нефти.