$$\frac{\partial A}{\partial t'} = \beta \frac{\partial^2 A}{\partial x'^2} + B$$

$$\frac{A_i^{\tau+1} - A_i^{\tau}}{ht} = v \cdot \beta \frac{A_{i+1}^{\tau+1} - 2A_i^{\tau+1} + A_{i-1}^{\tau+1}}{hx^2} + (1-v) \cdot \beta \frac{A_{i+1}^{\tau} - 2A_i^{\tau} + A_{i-1}^{\tau}}{hx^2} + B^{\tau}$$

$$v \cdot A_{i+1}^{\tau+1} - (2v + a_i^{\tau}) \cdot A_i^{\tau+1} + v \cdot A_{i-1}^{\tau+1} = -c_i^{\tau}$$

$$a_i^{\tau} = \frac{hx^2}{\beta \cdot ht} \quad , \quad c_i^{\tau} = a_i^{\tau} \cdot A_i^{\tau} + (1-v) \cdot (A_{i+1}^{\tau} - 2A_i^{\tau} + A_{i-1}^{\tau}) + a_i^{\tau} \cdot ht \cdot B^{\tau}$$

$$A_i^{\tau+1} = q_i \cdot A_{i+1}^{\tau+1} + w_i$$

$$v \cdot A_{i+1}^{\tau+1} - (2v + a_i^{\tau}) \cdot A_i^{\tau+1} + v \cdot (q_{i-1} \cdot A_i^{\tau+1} + w_{i-1}) = -c_i^{\tau}$$

$$(2v + a_i^{\tau} - v \cdot q_{i-1}) \cdot A_i^{\tau+1} = v \cdot A_{i+1}^{\tau+1} + c_i^{\tau} + v \cdot w_{i-1}$$

$$q_i = \frac{v}{(2 - q_{i-1}) \cdot v + a_i^{\tau}} \quad , \quad w_i = \frac{c_i^{\tau} + v \cdot w_{i-1}}{(2 - q_{i-1}) \cdot v + a_i^{\tau}}$$

$$q_0 = Bndr\_L \quad , \quad w_0 = 0 \quad , \quad A_{N-1} = \frac{w_{N-1}}{1 - q_{N-1} \cdot Bndr\_R}$$

$$Bndr\_L, R = 0,1$$

$$\frac{\partial A}{\partial t'} = \beta \frac{\partial^2 A}{\partial x'^2} + B$$

$$\frac{A_i^{\tau+1} - A_i^{\tau}}{ht} = v \cdot \beta \frac{A_{i+1}^{\tau+1} - 2A_i^{\tau+1} + A_{i-1}^{\tau+1}}{hx^2} + (1-v) \cdot \beta \frac{A_{i+1}^{\tau} - 2A_i^{\tau} + A_{i-1}^{\tau}}{hx^2} + B^{\tau}$$

$$v \cdot a_i^{\tau} \cdot A_{i+1}^{\tau+1} - (2v \cdot a_i^{\tau} + 1) \cdot A_i^{\tau+1} + v \cdot a_i^{\tau} \cdot A_{i-1}^{\tau+1} = -c_i^{\tau} - g_i^{\tau}$$

$$a_i^{\tau} = \beta \cdot \frac{ht}{hx^2} \quad , \quad c_i^{\tau} = A_i^{\tau} + ht \cdot B^{\tau} \quad , \quad g_i^{\tau} = (1-v) \cdot a_i^{\tau} \cdot (A_{i+1}^{\tau} - 2A_i^{\tau} + A_{i-1}^{\tau})$$

$$A_i^{\tau+1} = q_i \cdot A_{i+1}^{\tau+1} + w_i$$

$$v \cdot a_i^{\tau} \cdot A_{i+1}^{\tau+1} - (2v \cdot a_i^{\tau} + 1) \cdot A_i^{\tau+1} + v \cdot a_i^{\tau} \cdot (q_{i-1} \cdot A_i^{\tau+1} + w_{i-1}) = -c_i^{\tau} - g_i^{\tau}$$

$$(2v \cdot a_i^{\tau} + 1 - v \cdot a_i^{\tau} \cdot q_{i-1}) \cdot A_i^{\tau+1} = v \cdot a_i^{\tau} \cdot A_{i+1}^{\tau+1} + c_i^{\tau} + g_i^{\tau} + v \cdot a_i^{\tau} \cdot w_{i-1}$$

$$q_i = \frac{v \cdot a_i^{\tau}}{(2 - q_{i-1}) \cdot v \cdot a_i^{\tau} + 1} \quad , \quad w_i = \frac{c_i^{\tau} + g_i^{\tau} + v \cdot a_i^{\tau} \cdot w_{i-1}}{(2 - q_{i-1}) \cdot v \cdot a_i^{\tau} + 1}$$

$$q_0 = Bndr\_L \quad , \quad w_0 = 0 \quad , \quad A_{N-1} = \frac{w_{N-1}}{1 - q_{N-1} \cdot Bndr\_R}$$

$$Bndr\_L, R = 0,1$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t} + div\mathbf{j}_N = 0 \\ \dfrac{\partial P}{\partial t} + div\mathbf{j}_P = V(N,P,I) \\ V(N,P,I) = \gamma \cdot I(x) \cdot (1-P-N) \cdot \left(-\ln \dfrac{1-P-N}{1-N} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \\ M + P + N = 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{j}_N = -\alpha_{NM}(M\nabla N - N\nabla M) - \xi_{PN}(P\nabla N - N\nabla P) \\ \mathbf{j}_P = -\eta_{MP}(M\nabla P - P\nabla M) - \xi_{PN}(N\nabla P - P\nabla N) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{j}_N = -\alpha_{NM}[(1-P-N)\nabla N + N(\nabla P + \nabla N)] - \xi_{PN}(P\nabla N - N\nabla P) \\ \mathbf{j}_P = -\eta_{MP}[(1-P-N)\nabla P + P(\nabla P + \nabla N)] - \xi_{PN}(N\nabla P - P\nabla N) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{j}_N = -\alpha_{NM}\nabla N + (\alpha_{NM} - \xi_{PN}) \cdot (P\nabla N - N\nabla P) \\ \mathbf{j}_P = -\eta_{MP}\nabla P - (\eta_{MP} - \xi_{PN}) \cdot (P\nabla N - N\nabla P) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t'} = \beta_{NM}\Delta N - (\beta_{NM} - \beta_{PN}) \cdot (P\Delta N - N\Delta P) - \\ \qquad - \dfrac{\beta_{PN} \cdot \nabla P}{P^*} \cdot (P\nabla N - N\nabla P) \\ \dfrac{\partial P}{\partial t'} = \beta_{MP}\Delta P + (\beta_{MP} - \beta_{PN}) \cdot (P\Delta N - N\Delta P) - \\ \qquad - \dfrac{\nabla P}{P^*}\left[(\beta_{MP} - \beta_{PN}) \cdot (P\nabla N - N\nabla P) + \beta_{MP}\nabla P\right] + V(N,P,I) \end{cases}$$

$$\begin{cases} v \cdot N_{i+1}^{\tau+1} - [2v + a_i]N_i^{\tau+1} + v \cdot N_{i-1}^{\tau+1} = -c_i^\tau \\ v \cdot P_{i+1}^{\tau+1} - [2v + b_i^\tau]P_i^{\tau+1} + v \cdot P_{i-1}^{\tau+1} = -d_i^\tau - f_i^\tau \end{cases}$$

$$a_i = \frac{hx^2}{\beta_{NM}ht} \quad , \quad b_i^\tau = \frac{hx^2}{\beta_{MP}^\tau ht} \quad ,$$

$$c_i^\tau = a_i N_i^\tau + (1-v) \cdot \Delta N^\tau - \left(1 - \frac{\beta_{PN}^\tau}{\beta_{NM}}\right) \cdot \Lambda(P^\tau, N^\tau) - \frac{\beta_{PN}^\tau}{\beta_{NM}} \cdot \frac{\nabla P^\tau}{P^*} \delta(P^\tau, N^\tau) \quad ,$$

$$d_i^\tau = b_i^\tau P_i^\tau + (1-v) \cdot \Delta P^\tau + \left(1 - \frac{\beta_{NM}}{\beta_M}\right) \cdot \Lambda(P^\tau, N^\tau) - \\ - \frac{\nabla P^\tau}{P^*}\left[\left(1 - \frac{\beta_{NM}}{\beta_M}\right) \cdot \delta(P^\tau, N^\tau) + \nabla P^\tau\right] \quad ,$$

$$f_i^\tau = b_i^\tau \cdot ht \cdot \gamma \cdot I_i' \cdot (1 - P_i^\tau - N_i^\tau)\left(-\ln \frac{1 - P_i^\tau - N_i^\tau}{1 - N_i^\tau}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad ,$$

$$\Lambda(M^\tau, N^\tau) = M_i^\tau \Delta N^\tau - N_i^\tau \Delta M^\tau \quad , \quad \Delta N^\tau = N_{i+1}^\tau - 2N_i^\tau + N_{i-1}^\tau \quad ,$$

$$\delta(M^\tau, N^\tau) = M_i^\tau \nabla N^\tau - N_i^\tau \nabla M^\tau \quad , \quad \nabla N^\tau = \frac{N_{i+1}^\tau - N_{i-1}^\tau}{2} \quad .$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t} + div\mathbf{j}_N = 0 \\ \dfrac{\partial P}{\partial t} = V(N,P,I) \\ V(N,P,I) = \gamma \cdot I(x) \cdot (1-P-N) \cdot \left(-\ln\dfrac{1-P-N}{1-N}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \\ M+P+N=1 \end{cases}$$

$$\left\{ \mathbf{j}_N = -\alpha_{NM}(M\nabla N - N\nabla M) \right.$$

$$\left\{ \mathbf{j}_N = -\alpha_{NM}[(1-P-N)\nabla N + N(\nabla P + \nabla N)] \right.$$

$$\left\{ \mathbf{j}_N = -\alpha_{NM} \cdot [\nabla N - (P\nabla N - N\nabla P)] \right.$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t'} = \beta_{NM} \cdot [\Delta N - (P\Delta N - N\Delta P)] \\ \dfrac{\partial P}{\partial t'} = V(N,P,I) \end{cases}$$

$$\left\{ \Delta A = \frac{\partial^2 A}{\partial r^2} + \frac{n}{r}\cdot\frac{\partial A}{\partial r}, \quad n = 1(\text{круг}),\ 2(\text{сфера}) \right.$$

Процесс перераспределения массовых долей компонент ФПК (мономера M, полимера P и нейтральной компоненты N) в ходе неоднородной фотополимеризации, определяющих пространственное распределение показателя преломления среды $n(x) = n_M \cdot M + n_P \cdot P + n_N \cdot N$, рассматривался в рамках модели, учитывающей радикальную полимеризацию и диффузионный массоперенос:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t'} = \beta_{NM}\left(M\dfrac{\partial^2 N}{\partial x'^2} - N\dfrac{\partial^2 M}{\partial x'^2}\right) + \beta_{PN}\left(P\dfrac{\partial^2 N}{\partial x'^2} - N\dfrac{\partial^2 P}{\partial x'^2}\right) + \dfrac{\beta_{PN}}{P^*}\left(N\dfrac{\partial P}{\partial x'} - P\dfrac{\partial N}{\partial x'}\right)\dfrac{\partial P}{\partial x'} \\ \dfrac{\partial P}{\partial t'} = \beta_{MP}\left(M\dfrac{\partial^2 P}{\partial x'^2} - P\dfrac{\partial^2 M}{\partial x'^2}\right) + \beta_{PN}\left(N\dfrac{\partial^2 P}{\partial x'^2} - P\dfrac{\partial^2 N}{\partial x'^2}\right) + \gamma \cdot I'(x') \cdot M\left(-\ln\dfrac{M}{1-N}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} + \\ \qquad + \dfrac{1}{P^*}\left[\beta_{MP}\left(P\dfrac{\partial M}{\partial x'} - M\dfrac{\partial P}{\partial x'}\right) + \beta_{PN}\left(P\dfrac{\partial N}{\partial x'} - N\dfrac{\partial P}{\partial x'}\right)\right]\dfrac{\partial P}{\partial x'} \end{cases} \qquad (1)$$

Здесь $M(P, N) = 1 - P - N$, n_M, n_P, n_N – показатели преломления мономера, полимера и нейтральной компоненты, $t' = t / t_P$, $t_P = H_0 / I_0$ и $t_D = W^2 / D_M$ – характерные времена полимеризации и диффузии, D_M – коэффициент самодиффузии мономера, параметр β_{NM} характеризует взаимодиффузию мономера и нейтральной компоненты, $\beta_{MP} = \beta_M \cdot \exp\{-P/P^*\}$, $\beta_{PN} = \beta_{NM} \cdot \exp\{-P/P^*\}$, $\beta_M = t_P / t_D$, H_0 и γ – параметры, определяющие контраст композиции.

При численном моделировании область непрерывного изменения аргументов $x' \in (0, L)$, $t' \in (0, T)$ заменялась дискретным множеством точек (сетку):

$$x' = i \cdot hx, \quad t' = \tau \cdot ht \quad . \qquad (2)$$

где i, hx и τ, ht – номер и величина шага по пространственной координате x' и времени t', соответственно. Дифференциальные уравнения в частных производных системы (3) решались с использованием комбинированной разностной схемы:

$$\begin{cases} v \cdot N_{i+1}^{\tau+1} - [2v + a_i]N_i^{\tau+1} + v \cdot N_{i-1}^{\tau+1} = -c_i^\tau \\ v \cdot P_{i+1}^{\tau+1} - [2v + b_i^\tau]P_i^{\tau+1} + v \cdot P_{i-1}^{\tau+1} = -d_i^\tau - f_i^\tau \end{cases} , \qquad (4)$$

с коэффициентами и дифференциальными операторами:

$$a_i = \frac{hx^2}{\beta_{NM} ht} \quad , \quad b_i^\tau = \frac{hx^2}{\beta_{MP}^\tau ht} \quad , \quad f_i^\tau = b_i^\tau \cdot ht \cdot \gamma \cdot I_i' \cdot (1 - P_i^\tau - N_i^\tau)\left(-\ln\frac{1 - P_i^\tau - N_i^\tau}{1 - N_i^\tau}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad ,$$

$$c_i^\tau = a_i^\tau N_i^\tau + (1-v) \cdot \Delta N^\tau - \left(1 - \frac{\beta_{PN}^\tau}{\beta_{NM}}\right) \cdot \Lambda(P^\tau, N^\tau) - \frac{\beta_{PN}^\tau}{\beta_{NM}} \cdot \frac{\nabla P^\tau}{P^*}\delta(P^\tau, N^\tau) \quad ,$$

$$d_i^\tau = b_i^\tau P_i^\tau + (1-v) \cdot \Delta P^\tau + \left(1 - \frac{\beta_{NM}}{\beta_M}\right) \cdot \Lambda(P^\tau, N^\tau) - \frac{\nabla P^\tau}{P^*}\left[\left(1 - \frac{\beta_{NM}}{\beta_M}\right) \cdot \delta(P^\tau, N^\tau) + \nabla P^\tau\right] \quad , \qquad (5)$$

$$\Lambda(P^\tau, N^\tau) = P_i^\tau \Delta N^\tau - N_i^\tau \Delta P^\tau \quad , \quad \Delta N^\tau = N_{i+1}^\tau - 2N_i^\tau + N_{i-1}^\tau \quad ,$$

$$\delta(P^\tau, N^\tau) = P_i^\tau \nabla N^\tau - N_i^\tau \nabla P^\tau \quad , \quad \nabla N^\tau = \frac{N_{i+1}^\tau - N_{i-1}^\tau}{2} \quad .$$

Величина шага по пространственной координате определялась как $hx = 1 / (Nx - 1)$, где Nx – количество точек по пространственной координате. А величину шага по времени ht выбирали, исходя из условия устойчивости схемы ($v = 0.5$):

$$\frac{\beta_{NM} \cdot ht}{hx^2} < \frac{1}{2} \quad . \qquad (6)$$

Моделирование осуществлялось для значений $W = 500$ *мкм*, $W / f = 0.4$, $\lambda = 0.63$ *мкм*, $P^* = 0.13$, $\gamma = 4$, $\beta_{NM} = 10\beta_M$ при варьировании параметров среды и воздействующего излучения.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t} + div\mathbf{j}_N = 0 \\ \dfrac{\partial M}{\partial t} + div\mathbf{j}_M = -V(N,M,I) \\ V(N,M,I) = \gamma \cdot I(x) \cdot M\left(-\ln\dfrac{M}{1-N}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \\ M + P + N = 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{j}_N = -\alpha_{NM}(M\nabla N - N\nabla M) - \xi_{PN}(P\nabla N - N\nabla P) \\ \mathbf{j}_M = -\alpha_{NM}(N\nabla M - M\nabla N) - \eta_{MP}(P\nabla M - M\nabla P) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{j}_N = -\alpha_{NM}(M\nabla N - N\nabla M) - \xi_{PN}[(1-M-N)\nabla N + N(\nabla M + \nabla N)] \\ \mathbf{j}_M = -\alpha_{NM}(N\nabla M - M\nabla N) - \eta_{MP}[(1-M-N)\nabla M + M(\nabla M + \nabla N)] \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathbf{j}_N = -\xi_{PN}\nabla N + (\xi_{PN} - \alpha_{NM}) \cdot (M\nabla N - N\nabla M) \\ \mathbf{j}_M = -\eta_{MP}\nabla M - (\eta_{MP} - \alpha_{NM}) \cdot (M\nabla N - N\nabla M) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t'} = \beta_{PN}\Delta N - (\beta_{PN} - \beta_{NM}) \cdot (M\Delta N - N\Delta M) - \\ \qquad - \dfrac{\beta_{PN}}{P^*} \cdot (\nabla N + \nabla M) \cdot (M\nabla N - N\nabla M - \nabla N) \\ \dfrac{\partial M}{\partial t'} = \beta_{MP}\Delta M + (\beta_{MP} - \beta_{NM}) \cdot (M\Delta N - N\Delta M) + \\ \qquad + \dfrac{\beta_{MP}}{P^*} \cdot (\nabla N + \nabla M) \cdot (M\nabla N - N\nabla M + \nabla M) - V(N,M,I) \end{cases}$$

$$\begin{cases} v \cdot N_{i+1}^{\tau+1} - [2v + a_i^\tau] N_i^{\tau+1} + v \cdot N_{i-1}^{\tau+1} = -c_i^\tau \\ v \cdot M_{i+1}^{\tau+1} - [2v + b_i^\tau] M_i^{\tau+1} + v \cdot M_{i-1}^{\tau+1} = -d_i^\tau + f_i^\tau \end{cases}$$

$$a_i^\tau = \frac{hx^2}{\beta_{PN}^\tau ht} \quad , \quad b_i^\tau = \frac{hx^2}{\beta_{MP}^\tau ht} \quad ,$$

$$c_i^\tau = a_i^\tau N_i^\tau + (1-v) \cdot \Delta N^\tau - \left(1 - \frac{\beta_{NM}}{\beta_{PN}^\tau}\right) \cdot \Lambda(M^\tau, N^\tau) - \\ - \frac{\nabla N^\tau + \nabla M^\tau}{P^*}[\delta(M^\tau, N^\tau) - \nabla N^\tau] \quad ,$$

$$d_i^\tau = b_i^\tau M_i^\tau + (1-v) \cdot \Delta M^\tau + \left(1 - \frac{\beta_{NM}}{\beta_{MP}^\tau}\right) \cdot \Lambda(M^\tau, N^\tau) + \\ + \frac{\nabla N^\tau + \nabla M^\tau}{P^*}[\delta(M^\tau, N^\tau) + \nabla M^\tau] \quad ,$$

$$f_i^\tau = b_i^\tau \cdot ht \cdot \gamma \cdot I_i' \cdot M_i^\tau \left(-\ln\frac{M_i^\tau}{1-N_i^\tau}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad ,$$

$$\Lambda(M^\tau, N^\tau) = M_i^\tau \Delta N^\tau - N_i^\tau \Delta M^\tau \quad , \quad \Delta N^\tau = N_{i+1}^\tau - 2N_i^\tau + N_{i-1}^\tau \quad ,$$

$$\delta(M^\tau, N^\tau) = M_i^\tau \nabla N^\tau - N_i^\tau \nabla M^\tau \quad , \quad \nabla N^\tau = \frac{N_{i+1}^\tau - N_{i-1}^\tau}{2} \quad .$$

Процесс перераспределения массовых долей компонент ФПК (мономера M, полимера P и нейтральной компоненты N) в ходе неоднородной фотополимеризации, определяющих пространственное распределение показателя преломления среды $n(x) = n_M \cdot M + n_P \cdot P + n_N \cdot N$, рассматривался в рамках модели, учитывающей радикальную полимеризацию и диффузионный массоперенос:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t'} = \beta_{NM}\left(M\dfrac{\partial^2 N}{\partial x'^2} - N\dfrac{\partial^2 M}{\partial x'^2}\right) + \beta_{PN}\left(P\dfrac{\partial^2 N}{\partial x'^2} - N\dfrac{\partial^2 P}{\partial x'^2}\right) + \dfrac{\beta_{PN}}{P^*}\left(N\dfrac{\partial P}{\partial x'} - P\dfrac{\partial N}{\partial x'}\right)\dfrac{\partial P}{\partial x'} \\ \dfrac{\partial M}{\partial t'} = \beta_{NM}\left(N\dfrac{\partial^2 M}{\partial x'^2} - M\dfrac{\partial^2 N}{\partial x'^2}\right) + \beta_{MP}\left(P\dfrac{\partial^2 M}{\partial x'^2} - M\dfrac{\partial^2 P}{\partial x'^2}\right) + \dfrac{\beta_{MP}}{P^*}\left(M\dfrac{\partial P}{\partial x'} - P\dfrac{\partial M}{\partial x'}\right)\dfrac{\partial P}{\partial x'} - \\ \qquad - \gamma \cdot I'(x') \cdot M\left(-\ln\dfrac{M}{1-N}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $P(M, N) = 1 - M - N$, n_M, n_P, n_N – показатели преломления мономера, полимера и нейтральной компоненты, $t' = t / t_P$, $t_P = H_0 / I_0$ и $t_D = W^2 / D_M$ – характерные времена полимеризации и диффузии, D_M – коэффициент самодиффузии мономера, параметр β_{NM} характеризует взаимодиффузию мономера и нейтральной компоненты, $\beta_{MP} = \beta_M \cdot \exp\{-P/P^*\}$, $\beta_{PN} = \beta_{NM} \cdot \exp\{-P/P^*\}$, $\beta_M = t_P / t_D$, H_0 и γ – параметры, определяющие контраст композиции.

При численном моделировании область непрерывного изменения аргументов $x' \in (0, L)$, $t' \in (0, T)$ заменялась дискретным множеством точек (сетку):

$$x' = i \cdot hx, \quad t' = \tau \cdot ht \quad . \quad (2)$$

где i, hx и τ, ht – номер и величина шага по пространственной координате x' и времени t', соответственно. Дифференциальные уравнения в частных производных системы (3) решались с использованием комбинированной разностной схемы:

$$\begin{cases} v \cdot N_{i+1}^{\tau+1} - [2v + a_i^\tau]N_i^{\tau+1} + v \cdot N_{i-1}^{\tau+1} = -c_i^\tau \\ v \cdot M_{i+1}^{\tau+1} - [2v + b_i^\tau]M_i^{\tau+1} + v \cdot M_{i-1}^{\tau+1} = -d_i^\tau + f_i^\tau \end{cases} , \quad (4)$$

с коэффициентами и дифференциальными операторами:

$$a_i^\tau = \frac{hx^2}{\beta_{PN}^\tau ht} \quad , \quad b_i^\tau = \frac{hx^2}{\beta_{MP}^\tau ht} \quad , \quad f_i^\tau = b_i^\tau \cdot ht \cdot \gamma \cdot I_i' \cdot M_i^\tau \left(-\ln\frac{M_i^\tau}{1-N_i^\tau}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad ,$$

$$c_i^\tau = a_i^\tau N_i^\tau + (1-v)\cdot \Delta N^\tau - \left(1 - \frac{\beta_{NM}}{\beta_{PN}^\tau}\right)\cdot \Lambda(M^\tau, N^\tau) - \frac{\nabla N^\tau + \nabla M^\tau}{P^*}[\delta(M^\tau, N^\tau) - \nabla N^\tau] \quad ,$$

$$d_i^\tau = b_i^\tau M_i^\tau + (1-v)\cdot \Delta M^\tau + \left(1 - \frac{\beta_{NM}}{\beta_{MP}^\tau}\right)\cdot \Lambda(M^\tau, N^\tau) + \frac{\nabla N^\tau + \nabla M^\tau}{P^*}[\delta(M^\tau, N^\tau) + \nabla M^\tau] \quad , \quad (5)$$

$$\Lambda(M^\tau, N^\tau) = M_i^\tau \Delta N^\tau - N_i^\tau \Delta M^\tau \quad , \quad \Delta N^\tau = N_{i+1}^\tau - 2N_i^\tau + N_{i-1}^\tau \quad ,$$

$$\delta(M^\tau, N^\tau) = M_i^\tau \nabla N^\tau - N_i^\tau \nabla M^\tau \quad , \quad \nabla N^\tau = \frac{N_{i+1}^\tau - N_{i-1}^\tau}{2} \quad .$$

Величина шага по пространственной координате определялась как $hx = 1 / (Nx - 1)$, где Nx – количество точек по пространственной координате. А величину шага по времени ht выбирали, исходя из условия устойчивости схемы ($v = 0.5$):

$$\frac{\beta_{NM} \cdot ht}{hx^2} < \frac{1}{2} \quad . \quad (6)$$

Моделирование осуществлялось для значений $W = 500$ *мкм*, $W / f = 0.4$, $\lambda = 0.63$ *мкм*, $P^* = 0.13$, $\gamma = 4$, $\beta_{NM} = 10\beta_M$ при варьировании параметров среды и воздействующего излучения.

$$\left\{\begin{array}{l}
N_{i+1}^{\tau+1}-(2+a_i^\tau)N_i^{\tau+1}+N_{i-1}^{\tau+1}=-c_i^\tau \\
M_{i+1}^{\tau+1}-(2+b_i^\tau)M_i^{\tau+1}+M_{i-1}^{\tau+1}=-d_i^\tau+f_i^\tau \\
a_i^\tau=\dfrac{hx^2}{v\beta_{PN}^\tau ht} \quad , \quad b_i^\tau=\dfrac{hx^2}{v\beta_{MP}^\tau ht} \quad , \quad f_i^\tau=b_i^\tau\cdot ht\cdot\gamma\cdot I_i'\cdot M_i^\tau\left(-\ln\dfrac{M_i^\tau}{1-N_i^\tau}\right)^{1-1/\gamma} \quad , \\
c_i^\tau=a_i^\tau N_i^\tau+\dfrac{1-v}{v}\Delta N^\tau-\left(1-\dfrac{\beta_{NM}}{\beta_{PN}^\tau}\right)\cdot\dfrac{\Lambda(M^\tau,N^\tau)}{v}-\dfrac{\nabla N^\tau+\nabla M^\tau}{v\cdot P^*}[\delta(M^\tau,N^\tau)-\nabla N^\tau] \quad , \\
d_i^\tau=b_i^\tau M_i^\tau+\dfrac{1-v}{v}\Delta M^\tau+\left(1-\dfrac{\beta_{NM}}{\beta_{MP}^\tau}\right)\cdot\dfrac{\Lambda(M^\tau,N^\tau)}{v}+\dfrac{\nabla N^\tau+\nabla M^\tau}{v\cdot P^*}[\delta(M^\tau,N^\tau)+\nabla M^\tau] \quad , \\
\Lambda(M^\tau,N^\tau)=M_i^\tau\Delta N^\tau-N_i^\tau\Delta M^\tau \quad , \quad \Delta N^\tau=N_{i+1}^\tau-2N_i^\tau+N_{i-1}^\tau \quad , \\
\delta(M^\tau,N^\tau)=M_i^\tau\nabla N^\tau-N_i^\tau\nabla M^\tau \quad , \quad \nabla N^\tau=\dfrac{N_{i+1}^\tau-N_{i-1}^\tau}{2} \quad .
\end{array}\right. \qquad (4)$$

или ($v = 0.5$)

$$\left\{\begin{array}{l}
N_{i+1}^{\tau+1}-(2+a_i^\tau)N_i^{\tau+1}+N_{i-1}^{\tau+1}=-c_i^\tau \quad , \\
M_{i+1}^{\tau+1}-(2+b_i^\tau)M_i^{\tau+1}+M_{i-1}^{\tau+1}=-d_i^\tau+f_i^\tau \quad , \\
a_i^\tau=\dfrac{2hx^2}{\beta_{PN}^\tau ht} \quad , \quad b_i^\tau=\dfrac{2hx^2}{\beta_{MP}^\tau ht} \quad , \quad f_i^\tau=b_i^\tau\cdot ht\cdot\gamma\cdot I_i'\cdot M_i^\tau\left(-\ln\dfrac{M_i^\tau}{1-N_i^\tau}\right)^{1-1/\gamma} \quad , \\
c_i^\tau=a_i^\tau N_i^\tau+\Delta N^\tau-\left(1-\dfrac{\beta_{NM}}{\beta_{PN}^\tau}\right)\cdot 2\Lambda(M^\tau,N^\tau)-2\dfrac{\nabla N^\tau+\nabla M^\tau}{P^*}[\delta M^\tau,N^\tau)-\nabla N^\tau] \quad , \\
d_i^\tau=b_i^\tau M_i^\tau+\Delta M^\tau+\left(1-\dfrac{\beta_{NM}}{\beta_{MP}^\tau}\right)\cdot 2\Lambda(M^\tau,N^\tau)+2\dfrac{\nabla N^\tau+\nabla M^\tau}{P^*}[\delta(M^\tau,N^\tau)+\nabla M^\tau], \\
\Lambda(M^\tau,N^\tau)=M_i^\tau\Delta N^\tau-N_i^\tau\Delta M^\tau \quad , \quad \Delta N^\tau=N_{i+1}^\tau-2N_i^\tau+N_{i-1}^\tau \quad , \\
\delta(M^\tau,N^\tau)=M_i^\tau\nabla N^\tau-N_i^\tau\nabla M^\tau \quad , \quad \nabla N^\tau=\dfrac{N_{i+1}^\tau-N_{i-1}^\tau}{2} \quad .
\end{array}\right. \qquad (4)$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t'} = \beta_{PN}\Delta N - (\beta_{PN} - \beta_{NM})\cdot(M\Delta N - N\Delta M) \\ \dfrac{\partial M}{\partial t'} = \beta_{MP}\Delta M + (\beta_{MP} - \beta_{NM})\cdot(M\Delta N - N\Delta M) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial N}{\partial t'} = [\beta_{PN} - (\beta_{PN} - \beta_{NM})\cdot M]\Delta N + (\beta_{PN} - \beta_{NM})\cdot N\Delta M \\ \dfrac{\partial M}{\partial t'} = (\beta_{MP} - \beta_{NM})\cdot M\Delta N + [\beta_{MP} - (\beta_{MP} - \beta_{NM})\cdot N]\Delta M \end{cases}$$

$$\begin{matrix} \beta_{PN} - (\beta_{PN} - \beta_{NM})\cdot M & (\beta_{PN} - \beta_{NM})\cdot N \\ (\beta_{MP} - \beta_{NM})\cdot M & \beta_{MP} - (\beta_{MP} - \beta_{NM})\cdot N \end{matrix}$$

$$\mu = \exp\{-P/P^*\}$$
$$\beta_{PN} = \beta_{NM}\cdot\mu$$
$$\beta_{MP} = \beta_{M}\cdot\mu$$

$$\begin{matrix} \beta_{NM}\cdot\mu - (\beta_{NM}\cdot\mu - \beta_{NM})\cdot M & (\beta_{NM}\cdot\mu - \beta_{NM})\cdot N \\ (\beta_{M}\cdot\mu - \beta_{NM})\cdot M & \beta_{M}\cdot\mu - (\beta_{M}\cdot\mu - \beta_{NM})\cdot N \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \beta_{NM}\cdot[\mu + (1-\mu)\cdot M] & -\beta_{NM}\cdot(1-\mu)\cdot N \\ -(\beta_{NM} - \beta_{M}\cdot\mu)\cdot M & -\beta_{NM}\cdot N + \beta_{M}\cdot\mu\cdot(1-N) \end{matrix}$$