

Приложение

Полное описание модели.

Модель процессов переноса электрона в цитохромном комплексе представляет собой систему 26 обыкновенных дифференциальных уравнений.

Дифференциальные уравнения 1-12 описывают изменения во времени относительных концентраций состояний цитохромного комплекса (схема на рис. 1) :

$$\frac{dC_1}{dt} = k_1 e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_5 (QH_2)_I - \frac{k_1}{Keq_1} e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_1 H_I - k_6 e^{\beta_1(H_I - H_s)} C_1 + \frac{k_6}{Keq_6} e^{\beta_1(H_I - H_s)} C_{11} H_I Q_I + k_8 C_2 Q_s - \frac{k_8}{Keq_8} C_1 Q_s^* + k_{14} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_2 Q_s^* H_s^2 - \frac{k_{14}}{Keq_{14}} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_1 H_I (QH_2)_s$$

$$\frac{dC_2}{dt} = k_2 e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_6 (QH_2)_I - \frac{k_2}{Keq_2} e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_2 H_I - k_5 e^{\beta_1(H_I - H_s)} C_2 + \frac{k_5}{Keq_5} e^{\beta_1(H_I - H_s)} C_{12} H_I Q_I - k_8 C_2 Q_s + \frac{k_8}{Keq_8} C_1 Q_s^* - k_{14} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_2 Q_s^* H_s^2 + \frac{k_{14}}{Keq_{14}} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_1 (QH_2)_s + k_{19} e^{\delta_1(H_I - H_s)} C_3 - \frac{k_{19}}{Keq_{19}} e^{\delta_1(H_I - H_s)} C_2$$

$$\frac{dC_3}{dt} = k_3 e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_7 (QH_2)_I - \frac{k_3}{Keq_3} e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_3 H_I + k_7 C_4 Q_s - \frac{k_7}{Keq_7} C_3 Q_s^* + k_{13} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_4 Q_s^* H_s^2 - \frac{k_{13}}{Keq_{13}} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_3 (QH_2)_s - k_{19} e^{\delta_1(H_I - H_s)} C_3 + \frac{k_{19}}{Keq_{19}} e^{\delta_1(H_I - H_s)} C_2$$

$$\frac{dC_4}{dt} = k_4 e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_8 (QH_2)_I - \frac{k_4}{Keq_4} e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_4 H_I - k_7 C_4 Q_s + \frac{k_7}{Keq_7} C_3 Q_s^* - k_{13} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_4 Q_s^* H_s^2 + \frac{k_{13}}{Keq_{13}} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_3 (QH_2)_s$$

$$\frac{dC_5}{dt} = -k_1 e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_5 (QH_2)_I + \frac{k_1}{Keq_1} e^{\alpha_1(H_I - H_s)} C_1 H_I + k_{10} C_6 Q_s - \frac{k_{10}}{Keq_{10}} C_3 Q_s^* + k_{16} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_6 Q_s^* H_s^2 - \frac{k_{16}}{Keq_{16}} e^{\gamma_1(H_I - H_s)} C_5 (QH_2)_s + k_{22} C_9 PC^o - \frac{k_{22}}{Keq_{22}} C_5 PC^r$$

$$\frac{dC_6}{dt} = -k_2 e^{\alpha_1(H_l - H_s)} C_6 (QH_2)_l + \frac{k_2}{Keq_2} e^{\alpha_1(H_l - H_s)} C_2 H_l - k_{10} C_6 Q_s + \frac{k_{10}}{Keq_{10}} C_5 Q_s^* - k_{16} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_6 Q_s^* H_s^2 +$$

$$\frac{k_{16}}{Keq_{16}} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_5 (QH_2)_s + k_{20} e^{\delta_1(H_l - H_s)} C_7 - \frac{k_{20}}{Keq_{20}} e^{\delta_1(H_l - H_s)} C_6 + k_{23} C_{10} PC^o - \frac{k_{23}}{Keq_{23}} C_6 PC^r$$

$$\frac{dC_7}{dt} = -k_3 e^{\alpha_1(H_l - H_s)} C_7 (QH_2)_l + \frac{k_3}{Keq_3} e^{\alpha_1(H_l - H_s)} C_3 H_l + k_9 C_8 Q_s - \frac{k_9}{Keq_9} C_7 Q_s^* + k_{15} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_8 Q_s^* H_s^2$$

$$- \frac{k_{15}}{Keq_{15}} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_7 (QH_2)_s - k_{20} e^{\delta_1(H_l - H_s)} C_7 + \frac{k_{20}}{Keq_{20}} e^{\delta_1(H_l - H_s)} C_6 + k_{24} C_{11} PC^o - \frac{k_{24}}{Keq_{24}} C_7 PC^r$$

$$\frac{dC_8}{dt} = -k_4 e^{\alpha_1(H_l - H_s)} C_8 (QH_2)_l + \frac{k_4}{Keq_4} e^{\alpha_1(H_l - H_s)} C_4 H_l - k_9 C_8 Q_s + \frac{k_9}{Keq_9} C_7 Q_s^* - k_{15} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_8 Q_s^* H_s^2$$

$$+ \frac{k_{15}}{Keq_{15}} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_7 (QH_2)_s + k_{25} C_{12} PC^o - \frac{k_{25}}{Keq_{25}} C_8 PC^r$$

$$\frac{dC_9}{dt} = k_{12} C_{10} Q_s - \frac{k_{12}}{Keq_{12}} C_9 Q_s^* + k_{18} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_{10} Q_s^* H_s^2 - \frac{k_{18}}{Keq_{18}} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_9 (QH_2)_s - k_{22} C_9 PC^o$$

$$+ \frac{k_{22}}{Keq_{22}} C_5 PC^r$$

$$\frac{dC_{10}}{dt} = -k_{12} C_{10} Q_s + \frac{k_{12}}{Keq_{12}} C_9 Q_s^* - k_{18} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_{10} Q_s^* H_s^2 + \frac{k_{18}}{Keq_{18}} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_9 (QH_2)_s + k_{21} e^{\delta_1(H_l - H_s)} C_{11}$$

$$- \frac{k_{21}}{Keq_{21}} e^{\delta_1(H_l - H_s)} C_{10} - k_{23} C_{10} PC^o + \frac{k_{23}}{Keq_{23}} C_6 PC^r$$

$$\frac{dC_{11}}{dt} = k_6 e^{\beta_1(H_l - H_s)} C_1 - \frac{k_6}{Keq_6} e^{\beta_1(H_l - H_s)} C_{11} H_l Q_l + k_{11} C_{12} Q_s - \frac{k_{11}}{Keq_{11}} C_{11} Q_s^* + k_{17} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_{12} Q_s^* H_s^2$$

$$- \frac{k_{17}}{Keq_{17}} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_{11} (QH_2)_s - k_{21} e^{\delta_1(H_l - H_s)} C_{11} + \frac{k_{21}}{Keq_{21}} e^{\delta_1(H_l - H_s)} C_{10} - k_{24} C_{11} PC^o + \frac{k_{24}}{Keq_{24}} C_7 PC^r$$

$$\frac{dC_{12}}{dt} = k_5 e^{\beta_1(H_l - H_s)} C_2 - \frac{k_5}{Keq_5} e^{\beta_1(H_l - H_s)} C_{12} H_l Q_l - k_{11} C_{12} Q_s + \frac{k_{11}}{Keq_{11}} C_{11} Q_s^* - k_{17} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_{12} Q_s^* H_s^2$$

$$+ \frac{k_{17}}{Keq_{17}} e^{\gamma_1(H_l - H_s)} C_{11} (QH_2)_s - k_{25} C_{12} PC^o + \frac{k_{25}}{Keq_{25}} C_8 PC^r$$

Уравнения для концентраций подвижных переносчиков:

$$\begin{aligned} \frac{d(QH_2)_l}{dt} = & -k_1 e^{\alpha_1(H_l-H_s)} C_5 (QH_2)_l + \frac{k_1}{Keq_1} e^{\alpha_1(H_l-H_s)} C_1 H_l - k_2 e^{\alpha_1(H_l-H_s)} C_6 (QH_2)_l \\ & + \frac{k_2}{Keq_2} e^{\alpha_1(H_l-H_s)} C_2 H_l - k_3 e^{\alpha_1(H_l-H_s)} C_7 (QH_2)_l + \frac{k_3}{Keq_3} e^{\alpha_1(H_l-H_s)} C_3 H_l - k_4 e^{\alpha_1(H_l-H_s)} C_8 (QH_2)_l \\ & + \frac{k_4}{Keq_4} e^{\alpha_1(H_l-H_s)} C_4 H_l + k_{D1} ((QH_2)_s - (QH_2)_l) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d(QH_2)_s}{dt} = & k_{13} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_4 Q_s^* H_s^2 - \frac{k_{13}}{Keq_{13}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_3 (QH_2)_s + k_{14} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_2 Q_s^* H_s^2 \\ & - \frac{k_{14}}{Keq_{14}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_1 (QH_2)_s + k_{15} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_8 Q_s^* H_s^2 - \frac{k_{15}}{Keq_{15}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_7 (QH_2)_s + k_{16} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_6 Q_s^* H_s^2 \\ & - \frac{k_{16}}{Keq_{16}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_5 (QH_2)_s + k_{17} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_{12} Q_s^* H_s^2 - \frac{k_{17}}{Keq_{17}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_{11} (QH_2)_s + k_{18} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_{10} Q_s^* H_s^2 \\ & - \frac{k_{18}}{Keq_{18}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_9 (QH_2)_s - k_{D1} ((QH_2)_s - (QH_2)_l) \end{aligned}$$

$$\frac{dQ_l}{dt} = k_5 e^{\beta_1(H_l-H_s)} C_2 - \frac{k_5}{Keq_5} e^{\beta_1(H_l-H_s)} C_{12} H_l Q_l + k_6 e^{\beta_1(H_l-H_s)} C_1 - \frac{k_6}{Keq_6} e^{\beta_1(H_l-H_s)} C_{11} H_l Q_l - k_{D2} (Q_l - Q_s)$$

$$\begin{aligned} \frac{dQ_s}{dt} = & -k_7 C_4 Q_s + \frac{k_7}{Keq_7} C_3 Q_s^* - k_8 C_2 Q_s + \frac{k_8}{Keq_8} C_1 Q_s^* - k_9 C_8 Q_s + \frac{k_9}{Keq_9} C_7 Q_s^* - k_{10} C_6 Q_s + \frac{k_{10}}{Keq_{10}} C_5 Q_s^* \\ & - k_{11} C_{12} Q_s + \frac{k_{11}}{Keq_{11}} C_{11} Q_s^* - k_{12} C_{10} Q_s + \frac{k_{12}}{Keq_{12}} C_9 Q_s^* + k_{D2} (Q_l - Q_s) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dQ_s^*}{dt} = & -k_{13} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_4 Q_s^* H_s^2 + \frac{k_{13}}{Keq_{13}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_3 (QH_2)_s - k_{14} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_2 Q_s^* H_s^2 \\ & + \frac{k_{14}}{Keq_{14}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_1 (QH_2)_s - k_{15} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_8 Q_s^* H_s^2 + \frac{k_{15}}{Keq_{15}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_7 (QH_2)_s - k_{16} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_6 Q_s^* H_s^2 \\ & + \frac{k_{16}}{Keq_{16}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_5 (QH_2)_s - k_{17} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_{12} Q_s^* H_s^2 + \frac{k_{17}}{Keq_{17}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_{11} (QH_2)_s - k_{18} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_{10} Q_s^* H_s^2 \\ & + \frac{k_{18}}{Keq_{18}} e^{\gamma_1(H_l-H_s)} C_9 (QH_2)_s + k_7 C_4 Q_s - \frac{k_7}{Keq_7} C_3 Q_s^* + k_8 C_2 Q_s - \frac{k_8}{Keq_8} C_1 Q_s^* + k_9 C_8 Q_s - \frac{k_9}{Keq_9} C_7 Q_s^* \\ & + k_{10} C_6 Q_s - \frac{k_{10}}{Keq_{10}} C_5 Q_s^* + k_{11} C_{12} Q_s - \frac{k_{11}}{Keq_{11}} C_{11} Q_s^* + k_{12} C_{10} Q_s - \frac{k_{12}}{Keq_{12}} C_9 Q_s^* \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dPC^o}{dt} = & -k_{25} C_{12} PC^o + \frac{k_{25}}{Keq_{25}} C_8 PC^r - k_{24} C_{11} PC^o + \frac{k_{24}}{Keq_{24}} C_7 PC^r - k_{23} C_{10} PC^o + \frac{k_{23}}{Keq_{23}} C_6 PC^r \\ & - k_{22} C_9 PC^o + \frac{k_{22}}{Keq_{22}} C_5 PC^r \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dPC^r}{dt} = & k_{25}C_{12}PC^o - \frac{k_{25}}{Keq_{25}}C_8PC^r + k_{24}C_{11}PC^o - \frac{k_{24}}{Keq_{24}}C_7PC^r + k_{23}C_{10}PC^o - \frac{k_{23}}{Keq_{23}}C_6PC^r \\ & + k_{22}C_9PC^o - \frac{k_{22}}{Keq_{22}}C_5PC^r \end{aligned}$$

Уравнения для концентрации протонов :

$$\begin{aligned} \frac{dH_l}{dt} = & k_1e^{\alpha_1(H_l-H_s)}C_5(QH_2)_l - \frac{k_1}{Keq_1}e^{\alpha_1(H_l-H_s)}C_1H_l + k_2e^{\alpha_1(H_l-H_s)}C_6(QH_2)_l - \frac{k_2}{Keq_2}e^{\alpha_1(H_l-H_s)}C_2H_l \\ & + k_3e^{\alpha_1(H_l-H_s)}C_7(QH_2)_l - \frac{k_3}{Keq_3}e^{\alpha_1(H_l-H_s)}C_3H_l + k_4e^{\alpha_1(H_l-H_s)}C_8(QH_2)_l - \frac{k_4}{Keq_4}e^{\alpha_1(H_l-H_s)}C_4H_l \\ & + k_5e^{\beta_1(H_l-H_s)}C_2 - \frac{k_5}{Keq_5}e^{\beta_1(H_l-H_s)}C_{12}H_lQ_l + k_6e^{\beta_1(H_l-H_s)}C_1 - \frac{k_6}{Keq_6}e^{\beta_1(H_l-H_s)}C_{11}H_lQ_l - \frac{V_H H_l}{K_H + H_l} \\ & - k_{29}(H_lB_1 - B_{1H}K_{1B}) - k_{30}(H_lB_2 - B_{2H}K_{2B}) - k_{31}(H_lB_3 - B_{3H}K_{3B}) \end{aligned}$$

Уравнения для концентраций буферных групп:

$$\frac{dB_1}{dt} = -k_{29}(H_lB_1 - B_{1H}K_{1B})$$

$$\frac{dB_2}{dt} = -k_{30}(H_lB_2 - B_{2H}K_{2B})$$

$$\frac{dB_3}{dt} = -k_{31}(H_lB_3 - B_{3H}K_{3B})$$

$$\frac{dB_{1H}}{dt} = k_{29}(H_lB_1 - B_{1H}K_{1B})$$

$$\frac{dB_{2H}}{dt} = k_{30}(H_lB_2 - B_{2H}K_{2B})$$

$$\frac{dB_{3H}}{dt} = k_{31}(H_lB_3 - B_{3H}K_{3B})$$

Переменные модели:

C_1, C_2, \dots, C_{12} - соответствуют относительным концентрациям различных кинетических состояний bf комплекса, определяемых редокс состоянием входящих в него переносчиков электрона.

C_1 : комплекс протонированного семихинона с восстановленным FeS, b_l и b_h окислены.

C_2 : комплекс протонированного семихинона с восстановленным FeS, b_l окислен и b_h восстановлен.

C_3 : комплекс протонированного семихинона с восстановленным FeS, b_l восстановлен и b_h окислен.

C_4 : комплекс протонированного семихинона с восстановленным FeS, b_l и b_h восстановлены.

C_5 : FeS, b_l и b_h окислены.

C_6 : FeS окислен, b_l окислен и b_h восстановлен.

C_7 : FeS окислен, b_l восстановлен и b_h окислен.

C_8 : FeS окислен, b_l и b_h восстановлены.

C_9 : FeS восстановлен, b_l и b_h окислены.

C_{10} : FeS восстановлен, b_l окислен и b_h восстановлен.

C_{11} : FeS восстановлен, b_l восстановлен и b_h окислен.

C_{12} : FeS, b_l и b_h восстановлены.

$(QH_2)_l$: концентрация люменального пластохинола.

$(QH_2)_s$: концентрация строманального пластохинола.

Q_s^* : концентрация семихинона в строме.

Q_s : концентрация стромального пластохинона.

Q_l : концентрация люминального пластохинона.

PC^o : концентрация окисленного пластоцианина.

PC^r : концентрация восстановленного пластоцианина.

H_l : концентрация протона в люмене.

B_1, B_2, B_3 : концентрация буферных групп.

B_{1H}, B_{2H}, B_{3H} : концентрация буферных групп связанным протоном.

Реакции:

1-4:

Связывание пластохинола с р сайтом bf комплекса, в результате чего FeS-центр восстанавливается, один протон освобождается в люмен тилакоида и образуется комплекс протонированного семихинона с FeS.

5,6:

Освобождение второго протона в люмене с одновременным восстановленным гема b_1 . При этом освобождается пластохинон в люменальной фазе мембраны.

7-12:

Восстановленный гем b_h восстанавливает пластоцианина в n сайте, с образованием семихинона Q_s^* .

13-18:

Семихинон берёт второй электрон с гема b_h , превращаясь в пластохинол и поглощая при этом два протона из стромы хлоропласта.

19-21:

Трансмембранный перенос электрона между гемами цитохрома b: от низкопотенциального гема b_1 к высокопотенциальному гему b_h .

22-25:

Пластоцианин восстанавливается с окисленным центром Риска.

26:

Диффузия пластохинола от стромы в люмен.

27:

Диффузия пластохинона от люмена в строму.

28:

Утечка протона с люмена в строму.

Параметры:

k_1, k_2, \dots, k_{25} : Константы скоростей прямых реакций.

$K_{eq_1}, K_{eq_2}, \dots, K_{eq_{25}}$: Константы равновесия.

k_{D1} : Константа скорости перехода пластохинола от стромы в люмен.

k_{D2} : Константа скорости перехода пластохинона от люмена в строму.

Численные значения констант, полученные в результате процедуры идентификации параметров модели по экспериментальным данным (раздел 3)

$$\begin{aligned} k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = 500 & & K_{eq_1} = K_{eq_2} = K_{eq_3} = K_{eq_4} = 180 \\ k_5 = k_6 = 900 & & K_{eq_1} = K_{eq_2} = 1.29 \\ k_7 = k_8 = k_9 = k_{10} = k_{11} = k_{12} = 1500 & & K_{eq_7} = K_{eq_8} = K_{eq_9} = K_{eq_{10}} = K_{eq_{11}} = K_{eq_{12}} = 450 \\ k_{13} = k_{14} = k_{15} = k_{16} = k_{17} = k_{18} = 1370 & & K_{eq_{13}} = K_{eq_{14}} = K_{eq_{15}} = K_{eq_{16}} = K_{eq_{17}} = K_{eq_{18}} = 5 \\ k_{19} = k_{20} = k_{21} = 527 & & K_{eq_{19}} = K_{eq_{20}} = K_{eq_{21}} = 10 \\ k_{22} = k_{24} = 1820 & & K_{eq_{22}} = K_{eq_{24}} = 215 \\ k_{23} = k_{25} = 3050 & & K_{eq_{23}} = K_{eq_{25}} = 215 \end{aligned}$$

$$K_h = 0.001 \quad k_{D1} = 1630 \quad k_{D2} = 560 \quad V_h = 0.1$$

$$k_{29} = 10^8 \quad K_{1B} = 10^{-6.7}$$

$$k_{30} = 10^8 \quad K_{2B} = 10^{-7.7}$$

$$k_{31} = 10^6 \quad K_{3B} = 10^{-8.7}$$

Степень электрогенности отдельных реакций описывали с помощью соотношений (см. также раздел 1.2):

$$\alpha_1 = -\frac{F^2}{RT} \frac{ad_1}{C_M} \quad \alpha_{-1} = -\frac{F^2}{RT} \frac{a(1-d_1)}{C_M}$$

$$\beta_1 = -\frac{F^2}{RT} \frac{ad_2}{C_M} \quad \beta_{-1} = -\frac{F^2}{RT} \frac{a(1-d_2)}{C_M}$$

$$\gamma_1 = -\frac{F^2}{RT} \frac{2gd_4}{C_M} \quad \gamma_{-1} = -\frac{F^2}{RT} \frac{2g(1-d_4)}{C_M}$$

$$\delta_1 = -\frac{F^2}{RT} \frac{bd_5}{C_M} \quad \delta_{-1} = -\frac{F^2}{RT} \frac{b(1-d_5)}{C_M}$$

(a , b , g)– та доля мембранного потенциала $\Delta\Psi$, которая генерируется рассматриваемой стадией при переносе заряда через мембрану, (d_1 , d_2 , d_4 , d_5)– та часть мембранного

потенциала ($\alpha \cdot \Delta \Psi, \alpha = a, b, g$), которая влияет на константу скорости прямой реакции; F – постоянная Фарадея, R – газовая постоянная, T – температура, C_M – удельная емкость мембраны.

$$d_1 = 0.5 \quad d_2 = 0.5 \quad d_4 = 0.5 \quad d_5 = 0.5$$

$$a = 0.1 \quad b = 0.8 \quad g = 0.1 \quad C_M = 1.5$$

$$F = 96500 \quad R = 8.31 \quad T = 298$$

Концентрацию протонов в строме считали постоянной и равной:

$$H_s = 10^{-4} \text{ мМ}$$

Начальные значения:

Начальные значения переменных модели, соответствующие моменту времени сразу после насыщающей вспышки света.

Переменная	Начальное значение, мМ	Переменная	Начальное значение, мМ
c_1	0.05	c_{11}	0.45
c_2	0	c_{12}	0
c_3	0.05	$(QH_2)_l$	3
c_4	0	$(QH_2)_s$	3
c_5	0	Q_l	0
c_6	0	Q_s	0
c_7	0	Q_s^*	0
c_8	0	Pc^r	0.1
c_9	0.45	Pc^{ox}	0.9
c_{10}	0	(H_1^+)	10^{-4}

Далее приведены графики изменения переменных во времени, полученные на модели при значениях параметров, описанных выше.

Рис. П.1. Относительная концентрация различных состояний цитохромного комплекса ($C_1 - C_{12}$).

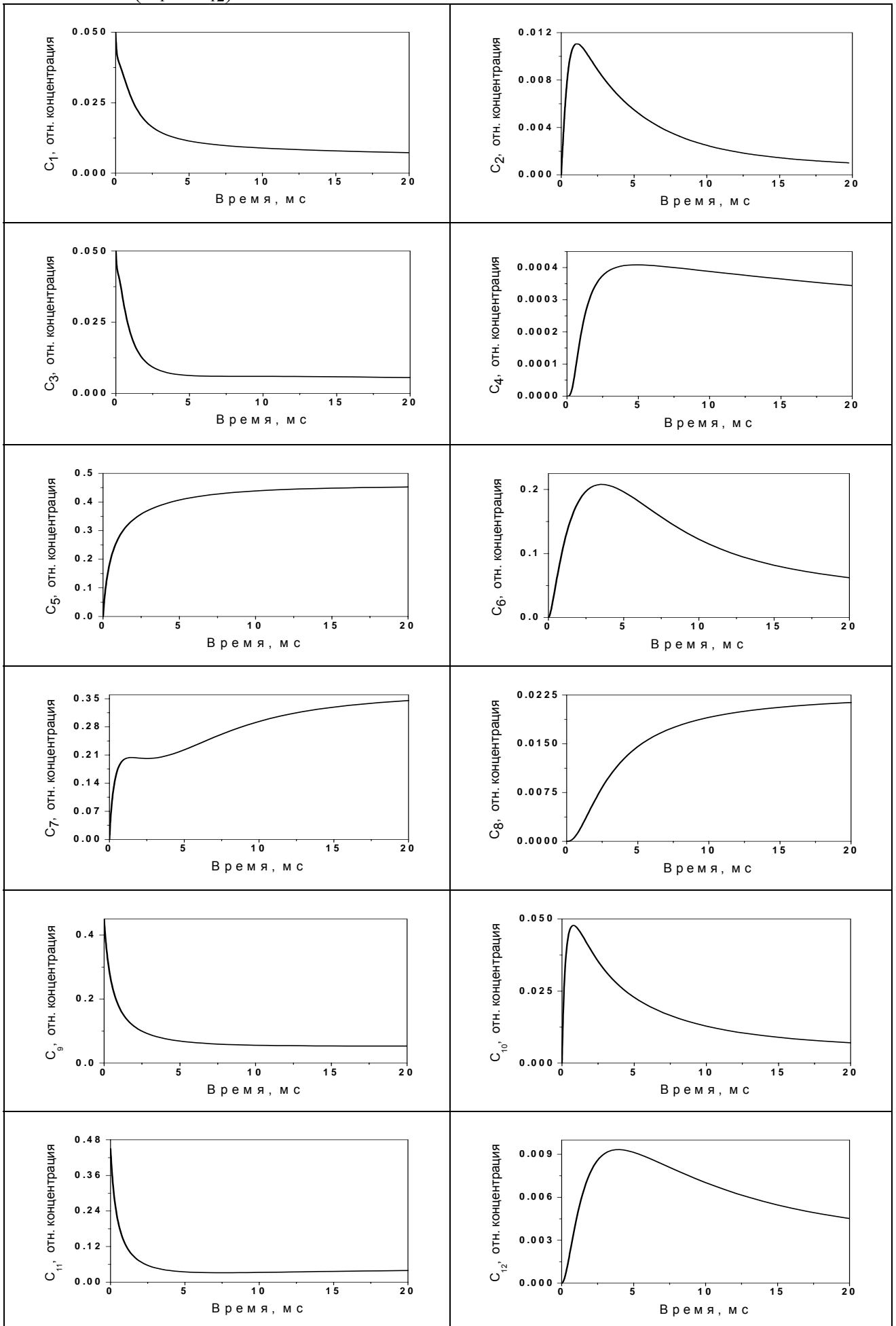


Рис. П.2. Относительная концентрация люменальных и стромальных форм пластохинона ($(QH_2)_l$, $(QH_2)_s$, Q_l , Q_s , Q_s^*).

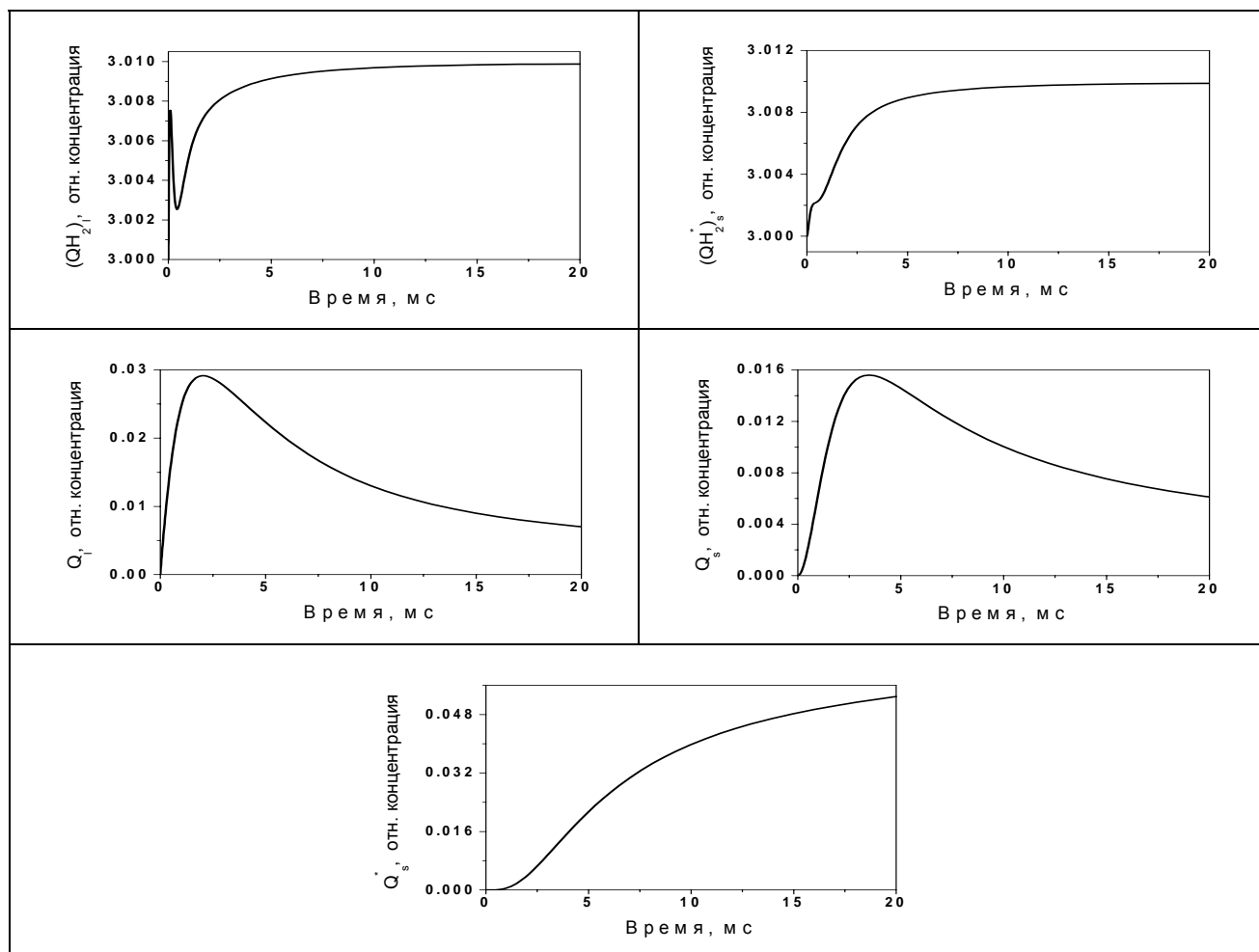


Рис. П.3. Относительная концентрация пластоцианина (Pc^o , Pc^r).

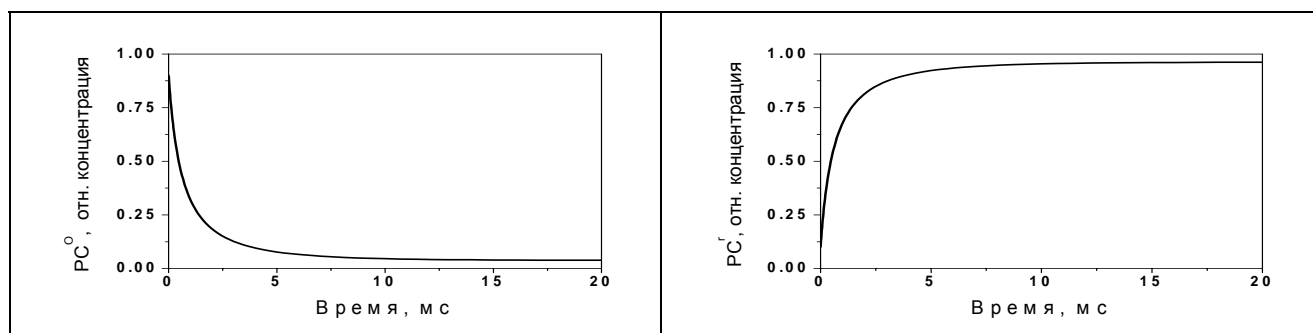


Рис. П.4. Относительная концентрация протонов в люмене.

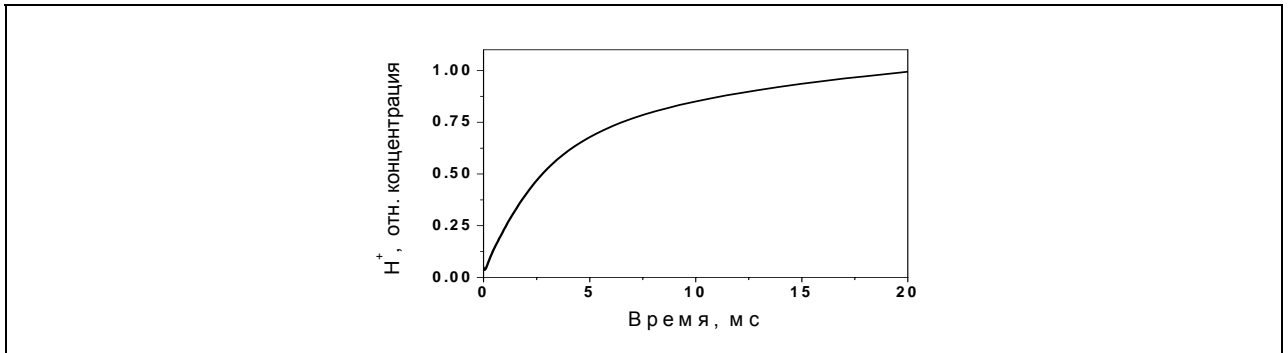


Рис. П.5. Относительная концентрация буферных групп.

