УДК: 577.1:544.35:615.28
DOI: 10.26456/vtchem2026.3.5

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕДОКС-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО С ОРГАНИЧЕСКИМ И НЕОРГАНИЧЕСКИМ ВОССТАНОВИТЕЛЯМИ

Е.Ю. Ермишина, Н.А.Наронова, Т.М.Еловикова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Екатеринбург

Аннотация. В статье исследовано влияние pH среды на кинетические и электрохимические параметры редокс-системы на основе метиленового синего при взаимодействии с аскорбиновой кислотой и тиосульфатом натрия. Физико-химические свойства красителя изучали методами спектрофотометрии, потенциометрии и кондуктометрии в интервале pC = 1–6, а кинетику обесцвечивания — в кислой (pH = 2,0), нейтральной (pH ≈ 7,0) и щелочной (pH = 12,0) средах. Анализ спектров поглощения проводили на трёх длинах волн (665, 615, 560 нм), что позволило отслеживать динамику разных форм красителя. Установлено, что в кислой среде реакция замедляется из-за протонирования центров метиленового синего, а в щелочной — протекает почти в 16 раз быстрее ($k = 0{,}494 \pm 0{,}036$ мин$^{-1}$, период полупревращения — 84 с). В щелочной среде обесцвечивание достигает 65,7 %, а окислительно-восстановительный потенциал снижается до −264 мВ. При реакции с аскорбиновой кислотой на $\lambda = 560$ нм отмечено кратковременное увеличение оптической плотности из-за агрегации молекул. Взаимодействие метиленового синего с тиосульфатом натрия в нейтральной среде происходит мгновенно и сопровождается снижением электропроводности в 12,5 раз из-за образования электронейтральных ассоциатов. Результаты могут быть использованы для оптимизации спектрофотометрического определения редокс-активных биомолекул и разработки оптических тест-систем и сенсоров.
Ключевые слова: *метиленовый синий, лейкометиленовый синий, аскорбиновая кислота, тиосульфат натрия, кинетика восстановления, редокс-система.*

1. Введение

Изучение кинетических закономерностей и термодинамических параметров протекания окислительно–восстановительных (редокс) процессов с участием синтетических органических красителей в водных

© Ермишина Е.Ю., Наронова Н.А., Еловикова Т.М., 2026

растворах представляет собой одну из фундаментальных и интенсивно развивающихся задач современной физической, аналитической и коллоидной химии [1: с.141]. В ряду подобных соединений особое место занимает метиленовый синий (МС) – классический тиазиновый индикатор фенотиазинового ряда. Молекула МС обладает уникальной способностью к обратимому многоэлектронному и протонозависимому переходу из интенсивно окрашенной окисленной формы в полностью бесцветную восстановленную лейкоформу – лейкометиленовый синий (ЛМС). Благодаря этой особенности МС находит применение в качестве модельного редокс–окислителя в каталитических исследованиях [2: с.27], органическом синтезе, процессах фотодеградации поллютантов [3: с.1005], а также в клинической фармации и биохимии [4: с.6]. Изучение кинетических параметров разрушения и трансформации структуры индикатора под действием внешних фотохимических и каталитических факторов позволяет оптимизировать технологические режимы обесцвечивания [5: с.137], [6: с.38].

Однако кинетическая стабильность, спектральные свойства и электрохимическая подвижность различных ионных форм МС сильно зависят от водородного показателя (pH), ионной силы раствора и химической природы реагирующих веществ. В водных средах молекулы МС склонны к процессам самоассоциации с образованием димеров, тримеров и более высокомолекулярных агрегатов, каждый из которых обладает собственным максимумом поглощения в видимой области спектра и отличной от мономеров реакционной способностью [7: с.78]. Ситуация осложняется тем, что изменение pH среды способно вызывать протонирование гетероциклических центров красителя или диссоциацию молекул восстановителей, существенно меняя движущую силу и затрудняя протекание окислительно–восстановительной реакции.

Традиционные подходы к исследованию таких систем, как правило, ограничиваются применением только метода спектрофотометрии. Вместе с тем, систематический и комплексный анализ подобных сложных редокс–систем методами, совмещающими спектрофотометрию, потенциометрию и кондуктометрию, открывает принципиально новые пути к пониманию механизмов электронного переноса, межмолекулярной ионной агрегации и мембранного транспорта, что позволит осуществлять направленное управление кинетикой редокс–процесса [8: с.60].

Несмотря на обилие разрозненных данных, в литературе практически отсутствуют комплексные сравнительные исследования, количественно сопоставляющие кинетическую и электрохимическую динамику МС при одновременном воздействии восстановителей принципиально разной химической природы (органического

полигидроксисоединения – аскорбиновая кислота и неорганической серусодержащей соли – тиосульфат натрия) в строго контролируемых диапазонах pH.

Цель работы: экспериментально определить кинетические, спектральные и электрохимические параметры водных растворов метиленового синего различной концентрации при взаимодействии с восстановителями органической (аскорбиновая кислота) и неорганической (тиосульфат натрия) природы в зависимости от pH реакционной среды.

2. Материалы и методы

В качестве модельного раствора окислителя использовали водный раствор метиленового синего (тетраметилтионина хлорида). Исходный концентрированный раствор с величиной pC(МС)=1,0 (0,1 М) готовили растворением точной навески сухого индикатора в дистиллированной воде. Для получения серии рабочих растворов с градиентом концентраций pC(МС)=2,0–6,0 проводили последовательное десятикратное разбавление: аликвоту объемом 10,0 мл исходного более концентрированного раствора переносили в мерную колбу и доводили дистиллированной водой до общего объема 100,0 мл. В качестве восстановителей использовали два вещества разной химической природы и полярностью редокс–взаимодействия с тиазиновыми веществами [9: с. 41]:

●Органический восстановитель – водный раствор аскорбиновой кислоты $C_6H_8O_6$ (АК, С = 0,01 М);

●Неорганический восстановитель – водный раствор тиосульфата натрия $Na_2S_2O_3$ (ТН, С = 0,01 М).

Для оценки влияния величины pH на кинетику перехода метиленового синего (МС) в бесцветную восстановленную форму – лейкометиленовый синий (ЛМС), исследуемые системы модифицировали и стабилизировали в трех диапазонах:

●Кислая среда (pH=2,0) моделировалась путем подкисления исследуемой системы раствором соляной кислоты (HCl, С=0,1 М).

●Нейтральная среда (pH≈7,0) обеспечивалась использованием дистиллированной воды.

●Щелочная среда (pH=12,0) моделировалась путем введения в исследуемую систему раствора гидроксида натрия (NaOH, С=0,1 М).

Водородный показатель (pH) и величину окислительно–восстановительного потенциала (ОВП, мВ) исследуемых систем измеряли анализатором жидкости «ЭКСПЕРТ–001» (Россия); величину электропроводности ($\varkappa$, мСм/см) измеряли кондуктометром «КП-150 МИ» (Россия); оптическую плотность (D) измеряли спектрофотометром

«КФК–3» (Россия) в кварцевых кюветах с длиной оптического пути l = 10 мм относительно холостой пробы (растворителя). Фиксацию аналитического сигнала осуществляли на трех строго определенных аналитических длинах волн, отвечающих характеристическим максимумам поглощения различных ионных форм и ассоциатов МС:

●λ=665 нм – главный максимум поглощения мономерной (молекулярной) формы окисленного МС;

●λ=615 нм – область поглощения димеров МС, образующихся в концентрированных растворах;

●λ=560 нм – область поглощения высокомолекулярных ассоциатов и агрегатов МС [10: с.62], [11: с.316].

Динамику обесцвечивания и константы скорости восстановления МС до ЛМС рассчитывали по кинетическим кривым изменения оптической плотности во времени (ΔD/Δt). Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методом малой выборки Стьюдента для серий из трех параллельных опытов (n=3) с доверительной вероятностью (P=0,95). Расчет средних арифметических величин, стандартных отклонений и доверительных интервалов проводился с помощью программного пакета Microsoft Excel.

3. Результаты и обсуждение

Экспериментальное изучение водных систем метиленового синего (МС) методами спектрофотометрии, потенциометрии и кондуктометрии проводилось в два последовательных этапа. На первом этапе были исследованы физико–химические свойства индивидуальных растворов МС (без восстановителей) различной концентрации (показатель концентрации в интервале pC=1–6) в нейтральной среде для установления исходных аналитических закономерностей. На втором этапе изучалось влияние водородного показателя среды (pH=2, pH≈7,0, pH=12) на кинетику редокс–взаимодействия МС со специфическими органическим (аскорбиновая кислота - АК) и неорганическим (тиосульфат натрия - ТН) восстановителями.

Анализ данных спектрофотометрии растворов МС, выполненный на трех характеристических длинах волн (λ=560 нм, λ=615 нм, λ=665 нм), зафиксировал строго монотонное, близкое к линейному снижение оптической плотности (D) по мере разбавления исследуемых растворов. Так, например, при длине волны λ=665 нм величина D плавно уменьшалась: при pC=3 составляла 1,837, при pC=3,5 снизилась до 1,659, при pC=4 падала до 1,311, а при максимальном разведении pC=5 достигла минимума в 0,316, что полностью подчиняется фундаментальному закону Бугера–Ламберта–Бера. Данные потенциометрии выявили, что начальное значение ОВП (φ) исследуемых растворов МС (без добавления

восстановителей) находилось в интервале от 31 до 44 мВ при pC=2–4, однако при pC=5 стало равным –3 мВ (Рисунок 1). Анализ данных кондуктометрического анализа выявил прямую зависимость электропроводности ($\varkappa$) исследуемых растворов от концентрации МС. Поскольку в процессе разбавления общее число свободных носителей заряда в единице объема закономерно снижалось, это приводило к пропорциональному уменьшению электропроводности системы. Так, $\varkappa$=5,2 мСм/см при pC=1, $\varkappa$ снизилась почти вдвое – до 2,9 мСм/см при pC=2 и достигла минимума 7,7 мкСм/см при pC=6.

Введение различных восстановителей (АК и ТН) в исследуемые системы при нейтральном значении реакционной среды (pH≈7) позволило установить кинетические и электрохимические различия протекающих процессов. При добавлении органического восстановителя – АК – уже на 2 минуте произошел скачкообразный рост электропроводности в 4,3 раза ($\varkappa$ в интервале 28,6–123,0 мкСм/см), что сопровождалось резким увеличением ОВП исследуемых систем в 2,2 раза (φ в интервале 100–220 мВ). Спектрофотометрический анализ показал, что синяя окраска раствора сначала ненадолго усилилась (оптическая плотность возросла с 0,53 до 0,63), а затем практически перестала изменяться. Такая плавная динамика без резких скачков указывала на невысокую скорость перехода МС в ЛМС в нейтральной среде. Напротив, взаимодействие МС с неорганическим восстановителем – ТН – протекало принципиально иначе. В отличие от АК, реакция с ТН началась сразу, без первоначального усиления окраски: оптическая плотность раствора плавно и равномерно снижалась с 0,53 до 0,32 к 16 минуте по мере расходования МС (Рисунок 2). Процесс сопровождался постепенным и непрерывным снижением ОВП в течение всего времени наблюдения с 64 до 58 мВ. Электропроводность системы с ТН также показала противоположную динамику, $\varkappa$ уменьшилась с 21,2 мСм/см до 1,7 мСм/см уже к 2 минуте эксперимента, что соответствует минимальной оценочной скорости изменения параметра $\Delta\varkappa/\Delta t$=9,76 мСм/(см·мин). Это коррелировало с постепенным обесцвечиванием раствора МС и объяснялось связыванием подвижных носителей заряда в прочные ассоциаты по уравнению:

$$C_{16}H_{18}N_3S^+ \bullet Cl^- + Na_2S_2O_3 \rightarrow [C_{16}H_{18}N_3S]^+ \bullet [NaS_2O_3]^- + NaCl \qquad (1)$$

Качественное изменение физико–химического поведения редокс–систем произошло при переходе в кислую среду (pH=2). Избыток ионов водорода в растворе протонировал азотсодержащие гетероциклические центры молекул МС, что приводило к образованию стабильного двухзарядного катиона $[МС \bullet H]^{2+}$. Данная форма обладала повышенной устойчивостью и препятствовала протеканию окислительно–восстановительной реакции с АК согласно уравнению:

$$МС^{+} + H^{+} \rightarrow [МС \bullet H]^{2+} \quad (2)$$

При длинах волн λ=560 нм и λ=615 нм оптическая плотность линейно уменьшалась, однако при длине волны λ=665 нм (в интервале pC от 3,0 до 3,5) оптическая плотность практически не изменялась (D≈1,70), а при сильном разбавлении pC≥4,0 резко уменьшалась и достигала минимума D=0,316 при pC=5. Значение ОВП исследуемых систем из–за высокой активности ионов водорода увеличивалось в 1,1 раза (φ в интервале от 276 до 304 мВ) (Рисунок 1), а электропроводность растворов практически не менялась и находилась в интервале от 9,3 до 9,9 мСм/см [12: с.80].

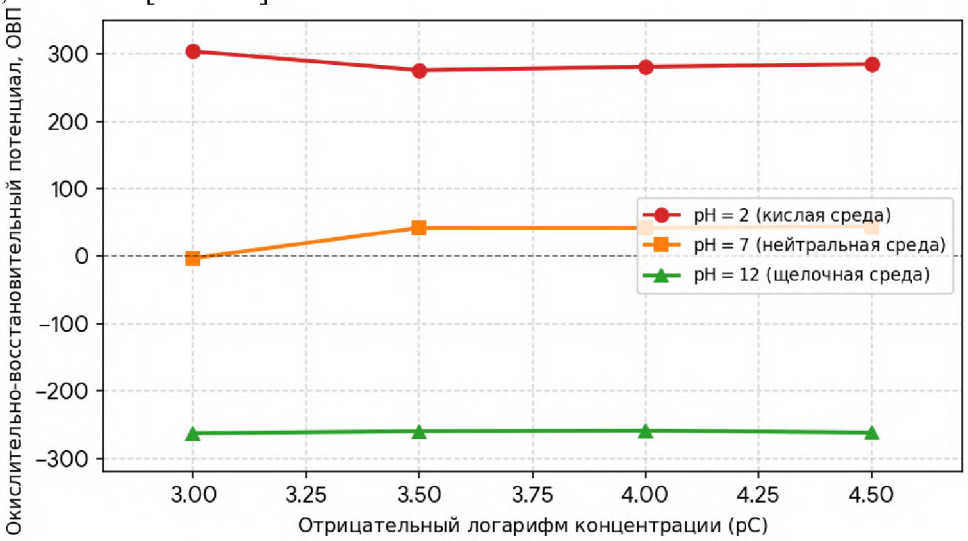


Рис. 1. Изменение величины ОВП водных растворов МС в зависимости от показателя концентрации (pC) при различных значениях pH среды

При добавлении АК в кислую среду (pC=3,0) восстановления МС практически не происходило: ОВП системы незначительно колебался около отметки 304–307 мВ, электропроводность при pC=4 стабилизировалась на значении 9,34 мСм/см, а оптическая плотность (λ=560 нм, pC=3,5) снижалась крайне медленно и нелинейно с 0,45 до 0,30 за 13 минут. Это свидетельствовало о химическом торможении процесса восстановления МС в кислой среде. Такая задержка была связана с тем, что избыток ионов водорода при pH=2 приводил к протонированию реакционных центров молекулы МС и смещал химическое равновесие редокс–процесса в сторону исходных веществ, препятствуя образованию ЛМС [13: с.270].

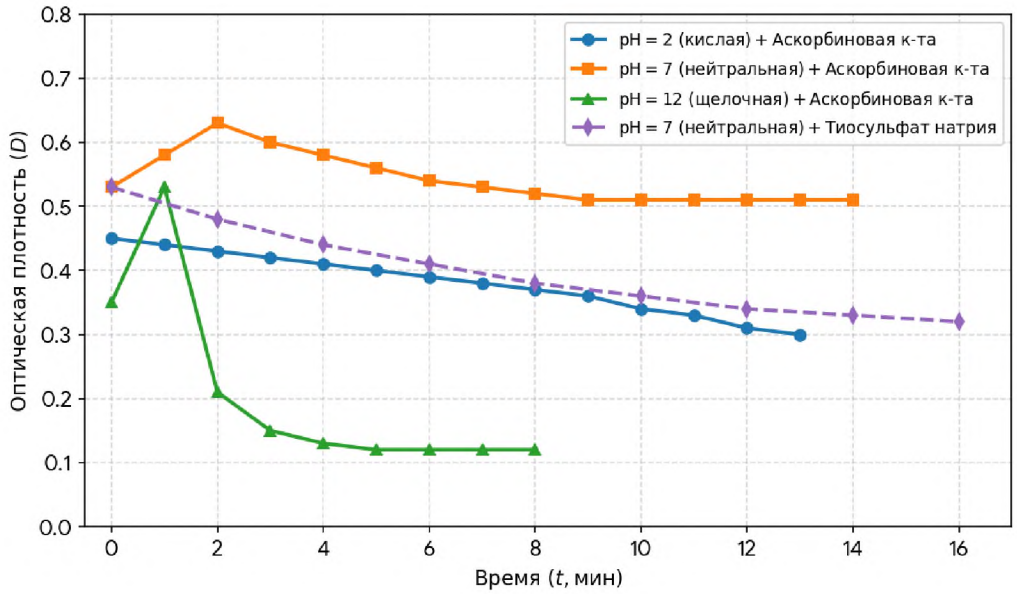


Рис. 2. Кинетические кривые изменения оптической плотности растворов МС при взаимодействии с АК и ТН в различных средах (λ=560 нм, pC=3,5)

Максимальную активность как окислитель МС проявил в сильнощелочной среде при pH=12. Высокая концентрация гидроксид–ионов сильно сместила начальное значение ОВП в отрицательную область (φ в интервале от –259 до –264 мВ), что создало идеальные термодинамические условия для протекания редокс–процесса (Рисунок 1). После введения 2 мл АК окислительно–восстановительная реакция в щелочной среде пошла очень быстро. ОВП системы плавно увеличился с –251 до –243 мВ, а электропроводность непрерывно снижалась с 1,36 до 1,29 мСм/см на протяжении активной фазы реакции (3 минуты) и стабилизировалась к 11 минуте эксперимента. Уменьшение электропроводности было обусловлено связыванием гидроксид–ионов в процессе окислительно–восстановительной реакции.

Параллельно с изменением электрохимических параметров исследуемых систем фиксировалось изменение оптической плотности. Так, например, при длине волны λ=560 нм (pC=3,5) окраска раствора на 1 минуте кратковременно усилилась (значение D возросло до 0,53), после чего началось стремительное уменьшение показателя практически до нулевой отметки (D≈0,1). Система мгновенно обесцвечивалась, превращаясь в восстановленную форму – ЛМС (Рисунок 2). Сравнение кинетических кривых оптической плотности при всех исследованных значениях pH наглядно доказало, что максимальная окислительная активность МС по отношению к восстановителю достигалась именно в щелочной среде. Переход МС в ЛМС под действием органического

восстановителя (АК) протекал в соответствии со следующим химическим уравнением:

$$C_{16}H_{18}N_3SCl + C_6H_8O_6 \rightarrow C_{16}H_{19}N_3S\ (ЛМС) + C_6H_6O_6 + HCl \quad (3)$$

Для количественной оценки обнаруженных различий и глубины протекания окислительно–восстановительного процесса были рассчитаны кинетические параметры по кривым изменения оптической плотности растворов красителя МС ($\Delta D/\Delta t$). Сводные результаты математического анализа представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

Кинетические характеристики и параметры эффективности процесса восстановления МС под действием АК в различных средах (λ=560 нм, pC=3,5)

Физико-химический и кинетический показатель	Кислая среда (pH=2)	Нейтральная среда (pH=7)	Щелочная среда (pH=12)
Начальная оптическая плотность (D_0)	0,45	0,53	0,35
Конечная оптическая плотность ($D_{кон}$)	0,30	0,49	0,12
Время активной фазы наблюдения (t, мин)	>13	>14	3
Расчетная константа скорости (k, мин$^{-1}$)	0,031±0,003	0,021±0,002	0,494±0,036
Период полупревращения красителя ($t_{1/2}$, мин)	22,3	33,0	1,4
Степень обесцвечивания раствора (α, %)	33,3%	7,5%	65,7%

Обнаруженные кинетические закономерности обусловлены различным состоянием молекул как окислителя, так и восстановителя в исследуемых средах. Высокая скорость процесса в щелочной среде (k=0,494±0,036 мин$^{-1}$) объясняется депротонированием АК с образованием высокоактивного аскорбат–аниона, обладающего значительно более высоким восстановительным потенциалом по

сравнению с недиссоциированной формой. В то же время, как было показано ранее (уравнение 2), в кислой среде (pH=2,0) реакционные центры МС блокируются за счет протонирования, что создает кинетический барьер для атаки со стороны молекул восстановителя. Низкая скорость реакции в нейтральной среде (k=0,021±0,002 мин$^{-1}$) указывает на то, что в отсутствие избытка катализирующих ионов (H^+) или (OH^-) редокс–взаимодействие протекает по лимитирующей стадии молекулярного переноса заряда.

Рассчитанные доверительные интервалы (P=0,95) подтвердили высокую надежность проведенных опытов: относительная погрешность определений во всех сериях экспериментов находилась в интервале 7,3–10,5%.

Расчет периодов полупревращения ($t_{1/2}$=0,693/k) выявил, что время, необходимое для снижения концентрации синей формы МС ровно в два раза, в щелочной среде составило всего 1,4 минуты, что почти в 16 раз быстрее, чем в кислой среде, и почти в 24 раза быстрее, чем в нейтральной. Оценка степени обесцвечивания растворов, рассчитанная как процентное отношение израсходованного красителя к его начальному количеству, продемонстрировала максимальную глубину протекания процесса в щелочной среде – 65,7%. Данный показатель превзошел результат в кислой среде почти в 2 раза, а в нейтральной – почти в 9 раз, что количественно доказывает высокую термодинамическую эффективность редокс–процесса при pH=12.

4. Выводы

1.Установлен характер влияния водородного показателя среды (pH) на кинетику редокс–взаимодействия метиленового синего с органическим восстановителем – аскорбиновой кислотой. Показано, что в кислой среде (pH=2,0) реакция лимитируется вследствие блокирующего протонирования реакционных центров красителя, тогда как в щелочной среде (pH=12,0) процесс протекает с максимальной скоростью, превышая кинетические показатели почти в 16 раз.

2.Выявлены специфические особенности окислительно–восстановительной реакции метиленового синего с неорганическим восстановителем – тиосульфатом натрия. Установлено, что в нейтральной среде (pH≈7,0) взаимодействие протекает мгновенно. Процесс сопровождается уменьшением электропроводности исследуемой системы ($\Delta\varkappa$=19,5 мСм/см) и экспериментально подтверждает связывание подвижных ионов в стабильные нейтральные ассоциаты.

3.Полученные данные о редокс–поведении МС имеют важное прикладное значение: установленная кинетическая стабильность

красителя в кислой среде и высокая скорость восстановления при pH=12,0 позволяют оптимизировать условия спектрофотометрического определения биомолекул (включая витамин С) и могут быть использованы при создании химических сенсоров.

Список литературы

1. Морозов А.Н., Фадеев Г.Н., Богатов Н.А., Болдырев В.С., Задорожный Н.А., Тимченко С.Л. Влияние низкочастотных колебаний на процесс восстановления метиленового синего // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки».* – 2022. – № 1 (100). – С. 141–156.
2. Артемьева М. Ю., Шмелев М.А., Козлова Н.В. (и др.) Синтез, структура и каталитическая активность гомо- и гетероядерных комплексов меди(II) и кобальта(II) // *Журнал неорганической химии*. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 25–33.
3. Козлов Д.А. Козлова Т.О., Щербаков А.Б., Анохин Е.О., Иванова О.С., Баранчиков А.Е. УФ-индуцированное фотокаталитическое восстановление метиленового синего под действием гидрозолей диоксида вольфрама // *Журнал неорганической химии*. – 2020. – Т. 65, № 7. – С. 1003–1008.
4. Поминова Д.В., Рябова А.В., Скобельцин А.С., Маркова И.В., Романишкин И.Д., Лощенов В.Б. Спектроскопическое исследование метиленового синего in vivo: влияние на оксигенацию тканей и опухолевый метаболизм // *Biomedical Photonics*. — 2023. – Т.12, № 1. – С.4-13.
5. Шлыкова А.Ю., Дубровина В.Н., Кулебякина А.И., Иванцова Н.А. Кинетика деструкции метиленового синего под воздействием импульсной ксеноновой лампы // *Известия ТулГУ. Естественные науки*. — 2024. — № 3. — С. 136–145.
6. Бахромова И.А., Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Фотокаталитическая деструкция метиленового синего новой аллотропной формой графитоподобного нитрида углерода // *Universum: химия и биология: электрон. научн. журн.* — 2023. – № 9(111) . — С.37-40
7. Царенко А. Д., Яценко А.Н., Ульянкина А.А. Оптимизация технологических параметров фотодеградации красителя метиленового синего в присутствии наноразмерного оксида цинка // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. – 2022. – № 4. – С. 75–81.
8. Ryabova A.V., Romanishkin I.D., Markova I.V., Pominova D.V. Simultaneous application of methylene blue and chlorin e6 photosensitizers: investigation on a cell culture // *Sovremennye tehnologii v medicine*. — 2025. — №17(1) . — С.58-68.
9. Богатов Н.А., Болдырев В.С., Фадеев Г.Н., Савина А.С., Зоткин А.П., Пентюхин Е.И. Особенности окислительно-восстановительной реакции

метиленового синего с аскорбиновой кислотой в среде, насыщенной кислородом // *Современные наукоемкие технологии*. – 2022. — № 9. — С. 39-43.

10. Богатов Н. А., Савина А.С., Болдырев В.С. Сонохимическое ингибирование окислительно-восстановительной реакции димерной формы метиленового синего // *Успехи в химии и химической технологии*. — 2020. — Т. 34, № 7 (230). — С. 61–63.
11. Kumar S., Singhal K., Chaudhary S. [et al.] Adsorption of methylene blue and metachromasy over graphene oxide (GO) nanosheet // *Materials Today: Proceedings*. — 2023. — Vol. 81, pt. 2. — P. 314–319.
12. Бункин Н.Ф., Тимченко С.Л., Задорожный Е.Н., и др. Диффузия водных растворов метиленового синего и аскорбиновой кислоты на полимерной мембране «Нафион» // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. — 2024. — № 5 (116) . — С. 71–96.
13. Ермишина Е.Ю., Еловикова Т.М. Исследование оптических и физико-химических свойств дисперсных водных систем стоматологического спрея с аквакомплексом глицеросольвата титана и метиленовым синим, применяемого при лечении маргинального гингивита // Инновационные технологии в фармации. Материалы Всероссийской НПК. Иркутск. – 2023. – С.268-272.

Об авторах:

ЕРМИШИНА Елена Юрьевна – кандидат химических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава РФ (620028, г. Екатеринбург, ул. Репина 3), e-mail: ermishina.e.yu@mail.ru

ORCID: 0000-0002-0077-7376.

НАРОНОВА Наталия Анатольевна – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры общей химии Уральского государственного медицинского университета (620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 3), e-mail: edinstvennaya@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-9422-896X, SPIN-код: 8291-9645, РИНЦ AuthorID: 184226.

ЕЛОВИКОВА Татьяна Михайловна – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний Уральского государственного медицинского университета (620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 3), e-mail: ugma-elovik@yandex.ru ORCID ID 0000-0001-8849-8875.

INFLUENCE OF MEDIUM ACIDITY ON KINETIC AND ELECTROCHEMICAL PARAMETERS OF REDOX INTERACTION OF METHYLENE BLUE WITH ORGANIC AND INORGANIC REDUCING AGENTS

E.Yu.Ermishina, N.A.Naronova, T.M. Elovikova

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ural State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Yekaterinburg

Abstract. This article examines the effect of pH on the kinetic and electrochemical parameters of a methylene blue-based redox system interacting with ascorbic acid and sodium thiosulfate. The physicochemical properties of the dye were studied using spectrophotometry, potentiometry, and conductometry in the pH range of 1–6, and the bleaching kinetics were measured in acidic (pH 2.0), neutral (pH ≈ 7.0), and alkaline (pH 12.0) environments. Absorption spectra were analyzed at three wavelengths (665, 615, and 560 nm), allowing for the dynamics of different dye forms to be monitored. It was found that the reaction slows down in an acidic medium due to protonation of methylene blue centers, while in an alkaline medium it proceeds almost 16 times faster ($k = 0.494 \pm 0.036$ min^{-1}, half-life of 84 s). In an alkaline medium, decolorization reaches 65.7%, and the oxidation-reduction potential decreases to -264 mV. During the reaction with ascorbic acid at $\lambda = 560$ nm, a short-term increase in optical density was noted due to molecular aggregation. The interaction of methylene blue with sodium thiosulfate in a neutral medium occurs instantly and is accompanied by a 12.5-fold decrease in electrical conductivity due to the formation of electroneutral associates. The results can be used to optimize the spectrophotometric determination of redox-active biomolecules and the development of optical test systems and sensors.
Keywords: *methylene blue, leucomethylene blue, ascorbic acid, sodium thiosulfate, reduction kinetics, redox system*

Дата поступления в редакцию: 15.07.2026.
Дата принятия в печать: 22.07.2026.