



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 4. С. 382–391

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2023, vol. 23, iss. 4, pp. 382–391

<https://ichbe.sgu.ru>

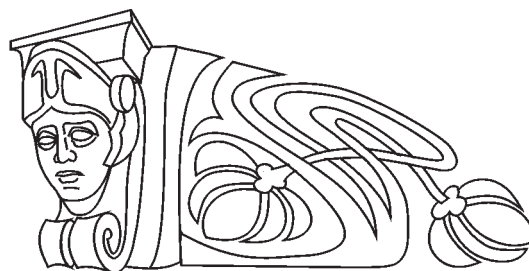
<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-4-382-391>, EDN: DYDGWL

Научная статья

УДК 544.45.454.542.943-92

## Инактивация ксенобиотиков: некоторых азокрасителей, нитропроизводных фенола и тетрациклинов

М. Н. Устинова ✉, К. А. Золотухина



Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

Устинова Мария Николаевна, кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии, [ustinova@bsu.edu.ru](mailto:ustinova@bsu.edu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5739-5339>

Золотухина Ксения Андреевна, студент Института фармации, химии и биологии, [1389050@bsu.edu.ru](mailto:1389050@bsu.edu.ru)

**Аннотация.** Проблема загрязнения окружающей среды продуктами человеческой жизнедеятельности в настоящее время критически актуальна. Органические фрагменты подвергаются деструкции медленно и в результате накапливаются в экосистемах. Множество исследований подтверждают наличие различных загрязнителей в реках, почвах, атмосфере. Несмотря на большой массив работ по поиску методов инактивации и очистки подобных загрязнителей, нет универсального, применимого к различным классам ксенобиотиков. Целью данной работы являлось изучение деструктивных процессов модельных систем ксенобиотиков различной природы. В качестве метода деструкции применяли УФ-облучение. Изучали деструкцию модельных веществ: двух красителей, двух фармацевтических препаратов и двух нитропроизводных фенола; деструктивные процессы модельных систем различных загрязнителей. Показано, что изученные субстраты уже в течение первого часа подвергаются фотодеструкции. Рассчитаны кинетические характеристики данных процессов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что УФ-облучение можно рассматривать как перспективный метод инактивации различных загрязнителей.

**Ключевые слова:** инактивация, ксенобиотики, фотолиз

**Для цитирования:** Устинова М. Н., Золотухина К. А. Инактивация ксенобиотиков: некоторых азокрасителей, нитропроизводных фенола и тетрациклинов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 4. С. 382–391. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-4-382-391>, EDN: DYDGWL

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Inactivation of xenobiotics and their mixtures

М. N. Ustinova ✉, К. A. Zolotukhina

Belgorod State University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

Maria N. Ustinova, [ustinova@bsu.edu.ru](mailto:ustinova@bsu.edu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5739-5339>

Kseniya A. Zolotukhina, [1389050@bsu.edu.ru](mailto:1389050@bsu.edu.ru)

**Abstract.** The problem of environmental pollution by human waste products is currently critically relevant. Organic fragments undergo degradation slowly and as a result accumulate in ecosystems. Many studies confirm the presence of various pollutants in rivers, soils, atmosphere. Despite a large body of work on the search for methods of inactivation and purification of such pollutants, there is no universal method, applicable to various classes of xenobiotics. The purpose of this work has been to study the destructive processes of model systems of xenobiotics of various nature. UV irradiation has been used as a method of destruction. The destruction of model substances has been studied in the work: two dyes, two pharmaceuticals and two nitro derivatives of phenol. Destructive processes of model systems of various pollutants have been studied. It is shown that many substrates undergo photodestruction within the first hour. Kinetic characteristics of these processes are calculated. The results obtained indicate that UV irradiation can be considered as a promising method of inactivation of various pollutants.

**Keywords:** inactivation, xenobiotics, photolysis

**For citation:** Ustinova M. N., Zolotukhina K. A. Inactivation of xenobiotics: Some azo dyes, phenol nitro derivatives, and tetracyclines. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2023, vol. 23, iss. 4, pp. 382–391 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-4-382-391>, EDN: DYDGWL

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



## Введение

Поллютанты – это различного рода загрязнители объектов окружающей среды [1–6]. Их присутствие крайне отрицательно сказывается на среде обитания различных бионтов, и как следствие, на их здоровье. На сегодняшний день проблема загрязнения окружающей среды выбросами отходов производства как никогда актуальна [7, 8].

Одним из основных источников ксенобиотиков, загрязняющих окружающую среду, является текстильная промышленность. Такие предприятия используют огромное количество разнообразных реагентов, красителей, которые впоследствии становятся серьёзными загрязнителями вод, особенно вблизи производства [9].

Не стоит забывать и о фармацевтических предприятиях. Чаще всего такие производства не оборудованы под переработку отходов после получения лекарственных препаратов. А они, в свою очередь, могут крайне негативно влиять на окружающую среду [10–12].

Пестициды также являются опасными поллютантами, это химические или биологические препараты, массово используемые для борьбы с вредителями и сорными растениями из-за технологической простоты, эффективности и невысокой стоимости. Другая сторона – влияние на экосистемы, ввиду сокращения биоразнообразия, а также в результате прямого действия на бионтов и опосредованного вследствие накопления остаточных количеств в сельскохозяйственных продуктах и питьевой воде [13, 14].

Данная экологическая проблема есть результат производства и потребления, которые сопутствуют развитию человечества. Видимые изменения в биосфере появились вследствие активного прогресса человечества. Но такой прогресс – это прежде всего загрязнение природной среды огромным количеством разнообразных синтетических веществ. Переработка или хотя бы инактивация таких отходов имеет серьёзную значимость для сохранности биогеоценоза в целом.

Существует множество способов переработки загрязняющих веществ. Одним из них можно считать очищение объектов окружающей среды деструктивными методами. Выбор того или иного способа зависит от свойств поллютанта и агрегатного состояния [15, 16].

Целью данной работы являлось изучение деструктивных процессов модельных систем различных поллютантов. В качестве метода деструкции применяли УФ-облучение.

## Материалы и методы

В работе в качестве объектов исследования использовали модельные вещества различного назначения. Были выбраны красители, пестициды и лекарственные препараты.

В качестве модельных систем отходов текстильной и лакокрасочной промышленности выбраны два металлохромных индикатора: эриохром чёрный Т (ЭХЧТ / ЕВТ) и эриохром синий (ЭС / ЕВ) (табл. 1). В данной работе были использованы металлоиндикаторы классификации ЧДА.

В качестве модельной системы отходов фармацевтической промышленности выбраны лекарственные препараты тетрациклинового ряда: тетрациклин (Т / Т) и доксициклин (Д / D). Тетрациклин выбран ввиду того, что его деструкция различными методами и системами исследовалась ранее, что позволит сделать рациональный анализ [17, 18]. Доксициклин является изомером тетрациклина, что также представляет интерес.

Тетрациклин выпускается в виде таблеток, покрытых пленочной оболочкой розового цвета и имеющих двояковыпуклую форму. Одна таблетка содержит 100 мг основного вещества, тетрациклина гидрохлорида, в состав таблетки также входят: стеарат кальция, диоксид титана, целлюлоза. Доксициклин выпускается в виде капсул, содержит 100 мг основного вещества – доксициклина гиклата, вспомогательные вещества: лактозы моногидрат, крахмал, кальция стеарат.

В работе без дополнительной обработки использовали коммерческие лекарственные препараты (см. табл. 1), при этом изучали только изменение концентрации действующего вещества. Превращения, которые могут претерпевать вспомогательные вещества, в данной работе не рассматривались, поскольку фармацевтические препараты попадают в окружающую среду со вспомогательными веществами, то их присутствие и влияние на деструкцию основного действующего вещества исключать нецелесообразно.

В качестве модельных систем отходов химической промышленности и производства пестицидов нами были выбраны 4-нитрофенол (НФ / NPh) и 2,6-динитрофенол (ДНФ / dNPh), оба реактива классификации ЧДА (см. табл. 1).

В эксперименте изучали деструкцию субстратов при температуре 20°C в водных растворах.



Таблица 1 / Table 1

Исследуемые вещества  
Compounds under study

| Название исследуемого образца<br>Name of the reagents                             | Структурная формула<br>Structural formula | Брутто-формула<br>Gross formula | $\lambda_{\max}$ , нм<br>$\lambda_{\max}$ , nm |
|---|---|---------------------------------|--|
| Красители / Dyes  |   |                                 |  |
| Эриохром чёрный Т /<br>Eriochrome black T   |   | $C_{20}H_{12}N_3O_7SNa$         | 540  |
| Эриохром синий /<br>Eriochrome blue   |   | $C_{16}H_9ClN_2Na_2O_9S_2$      | 530  |
| Лекарственный препарат / Medicinal product  |   |                                 |  |
| Тетрациклин<br>«Биосинтез», таблетки /<br>Tetracycline<br>“Biosynthesis”, tablets |   | $C_{22}H_{24}N_2O_8$            | 365  |
| Доксициклин<br>«Велфарм», капсулы /<br>Doxycycline<br>“Velpharm”, capsules        |   | $C_{22}H_{24}N_2O_8$            | 350  |
| Пестициды / Pesticides  |   |                                 |  |
| 4-нитрофенол /<br>4-nitrophenol   |   | $C_6H_5O_3N$                    | 320  |
| 2,6-динитрофенол /<br>2,6-dinitrophenol   |   | $C_6H_4O_5N_2$                  | 425  |



За изменением концентрации субстратов следили спектрофотометрическим методом по изменению интенсивности поглощения. Максимум поглощения определяли на спектрофотометре Specord Plus 210 в диапазоне длин волн от 200 до 600 нм с шагом 1 нм.

В фотолизную камеру Вольта ФК-12М, оснащенную ртутной лампой ДРТ-1000 мощностью 1000 Вт с лучистым потоком 128 Вт, поток излучения которой лежит в области спектра 240–320 нм, помещали 25 мл водного раствора исследуемого образца в специальной кварцевой пробирке и подвергали облучению в течение 5 мин. По истечении времени облучения раствору давали охладиться, отбирали пробу и регистрировали спектр поглощения.

Отобранную пробу возвращали в раствор. Фотолиз проводили в течение 60–90 мин.

### Результаты и их обсуждение

Изначально изучали деструкцию чистых компонентов. Эриохром черный Т является органическим азокрасителем группы диоксиазо-нафталина. В его молекулу входят хромофорная азогруппа и две фенольные группы. Эриохром синий также относится к группе азокрасителей, содержит азогруппу, которая соединяет ароматические циклы с сульфогруппами и гидроксогруппами.

На рис. 1 представлена деструкция данных красителей при трех значениях концентраций (мМ).

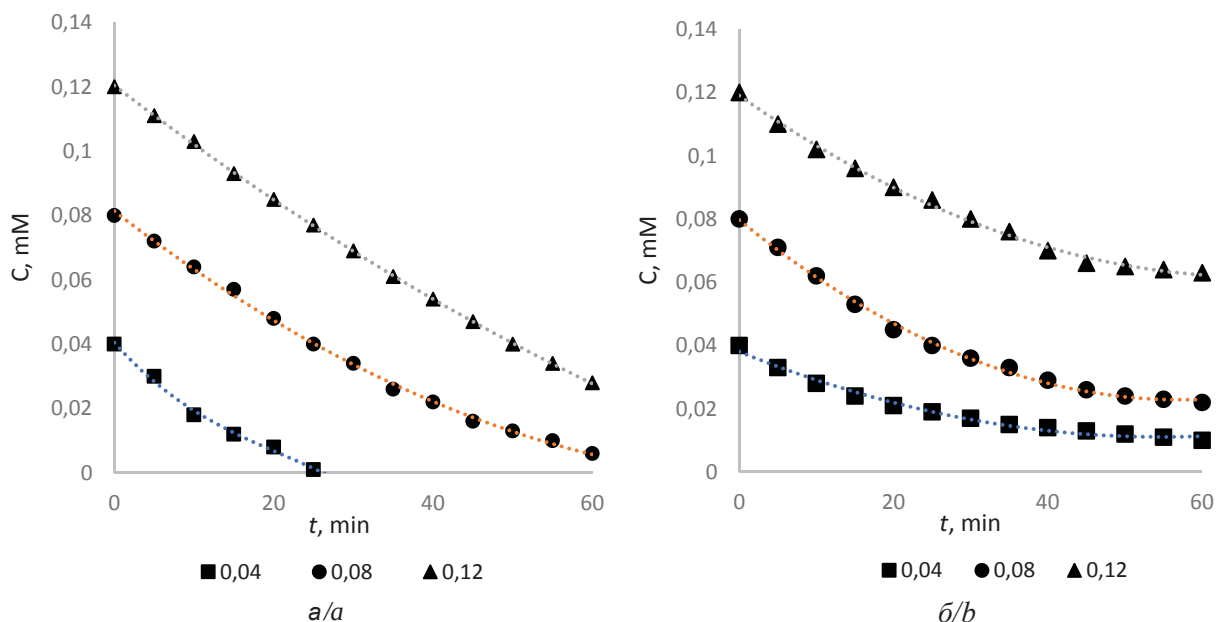


Рис. 1. Кинетическая кривая фотодеструкции эриохрома синего (а) и эриохрома чёрного Т (б)  
 Fig. 1. Kinetic photodestruction curve of blue eriochrome (a) and black eriochrome T (b)

Обесцвечивание растворов красителей и убыль оптической плотности видимого диапазона спектров является свидетельством разрыва азосвязи с образованием бесцветных ароматических аминов. Продуктами окисления аминопроизводных могут быть нитропроизводные, однако при наличии значительного количества окислителя возможна полная минерализация субстрата. В работе [19] при изучении биодegradации азокрасителей предложен механизм, в котором за стадией образования ароматических аминов следует дезаминирование, деароматизация и дециклизация с образованием линейных структур, среди продуктов деструкции азокрасителей были обнаружены спирты и карбоновые кислоты.

Линеаризация зависимостей в координатах  $\ln(C_0/C_t)$  от времени облучения (рис. 2) свидетельствует о первом порядке реакции. Константы скоростей соответствующих процессов определены по линейному уравнению каждой прямой.

Тетрациклины – группа антибиотиков, полифункциональные гидронафтаценовые соединения. Их окраска обусловлена наличием хромофоров в структуре. В электронном спектре тетрациклина наблюдается несколько характерных полос поглощения с максимумами при 220, 265 и 335 – 365 нм. Химические свойства тетрациклинов во многом определяются наличием в молекуле различных функциональных групп.

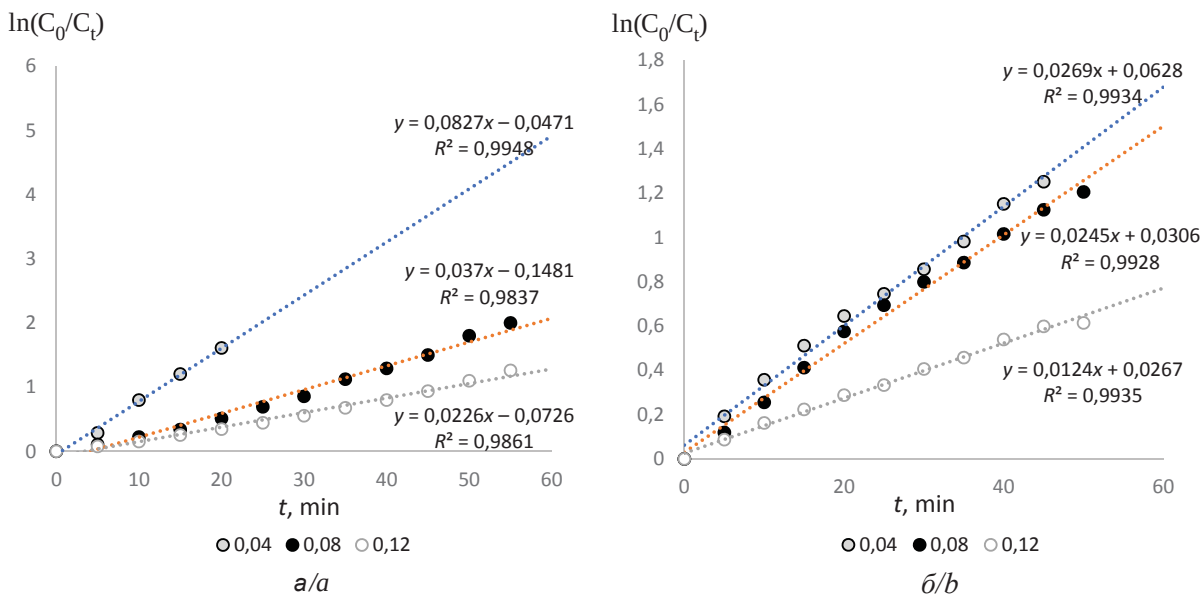


Рис. 2. Зависимость  $\ln(C_0/C_t)$  от времени облучения для эриохрома синего SE (а) и эриохрома черного Т (б)  
Fig. 2. Dependence of  $\ln(C_0/C_t)$  on the irradiation time for blue eriochrome SE (a) and black eriochrome T (b)

На рис. 3 представлена фотодеструкция действующего вещества тетрациклина и доксициклина при трех варьируемых концентрациях (mM). Видно, что степень деструкции тетрациклина выше доксициклина. Доксициклин

является изомером тетрациклина, в результате перегруппировки одной гидроксигруппы между соседними циклами в структуре конденсированной четырехциклической системы, что влияет на способность к деструктивным процессам.

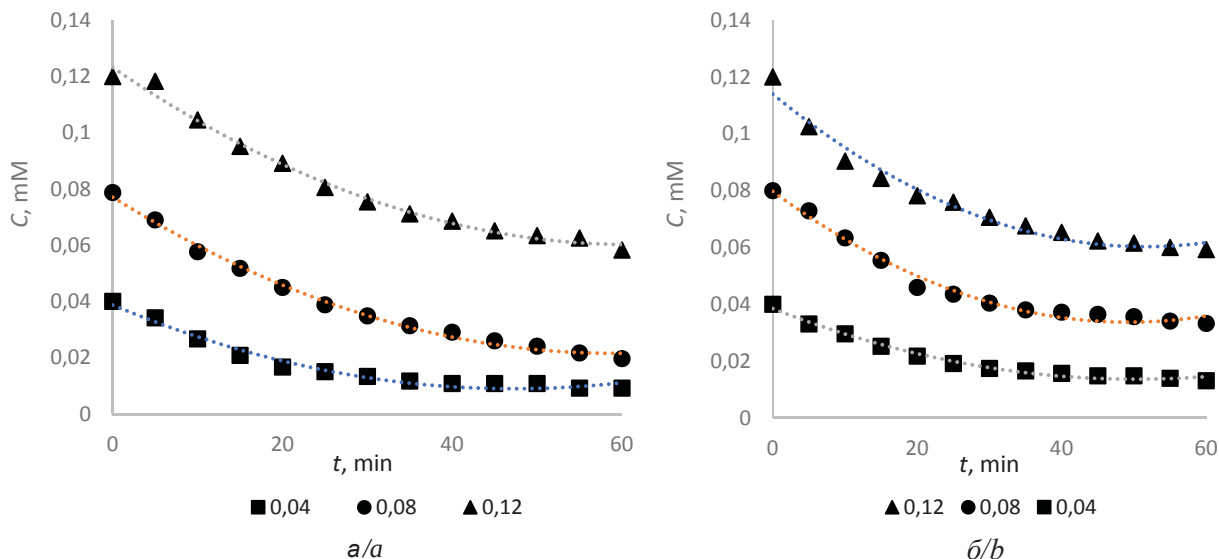


Рис. 3. Кинетическая кривая фотодеструкции действующего вещества (а) тетрациклина и (б) доксициклина  
Fig. 3. Kinetic photodestruction curve of the active substance (a) tetracycline and (b) doxycycline

На рис. 4 представлена деструкция 4-нитрофенола и 2,6-динитрофенола. Ранее говорилось о механизме деструкции красителей, результатом которой могут являться нитроароматические соединения, не менее токсичные чем amino-.

Видно, что с течением времени 4-нитрофенол при трех изучаемых концентрациях достигает высокой степени деструкции, более 90%. Интересен вид полученных кривых деструкции 2,6-динитрофенола, в течение 30 мин

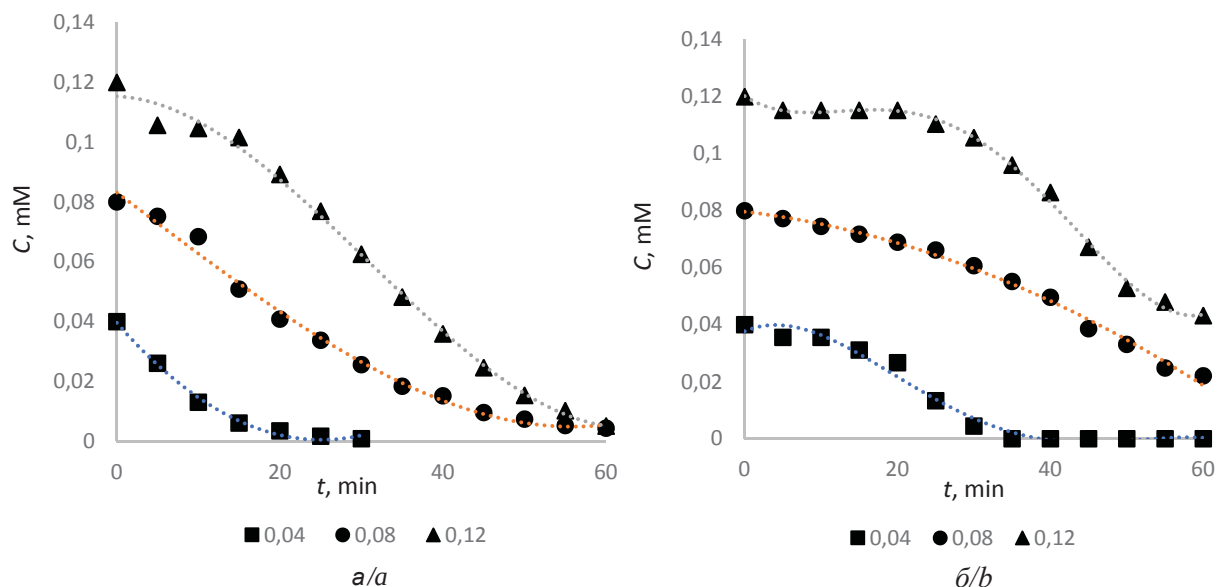


Рис. 4. Кинетическая кривая фотодеструкции (а) 4-нитрофенола и (б) 2,6-динитрофенола  
 Fig. 4. Kinetic curve of photodestruction of (a) 4-nitrophenol and (b) 2,6-dinitrophenol

реакция идет с одной скоростью, достигая 30% деструкции, и далее резко ускоряется. Вероятно, для деструкции такого устойчивого поллютан-

та необходимо накопление фотонов в системе. Все кинетические характеристики процессов деструкции сведены в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

**Кинетические характеристики изучаемых систем**  
**Kinetic characteristics of the studied systems**

| №  | Система / System | Концентрация исходная, ммоль/л / Initial concentration, mmol/l | Степень деструкции, час % / Degree of destruction, hour % | Начальная скорость деструкции, мкмоль/л×мин / Initial destruction rate, mmol/l×min |
|--|------------------|--|---|--|
| Красители / Dyes                                 |                  |  |   |  |
| 1  | ЭС / EB          | 0,04   | 99,90   | 2,0  |
| 2  |                  | 0,08   | 92,50   | 1,6  |
| 3  |                  | 0,12   | 76,66   | 1,8  |
| 4  | ЭХЧТ / EBТ       | 0,04   | 75,00   | 1,4  |
| 5  |                  | 0,08   | 72,50   | 1,8  |
| 6  |                  | 0,12   | 47,50   | 2,0  |
| Лекарственные препараты / Medicinal preparations |                  |  |   |  |
| 1  | Т / T            | 0,04   | 77,08   | 1,2  |
| 2  |                  | 0,08   | 74,98   | 1,9  |
| 3  |                  | 0,12   | 51,43   | 0,3  |
| 4  | Д / D            | 0,04   | 67,39   | 1,4  |
| 5  |                  | 0,08   | 58,42   | 1,4  |
| 6  |                  | 0,12   | 50,63   | 3,5  |
| Пестициды / Pesticides                           |                  |  |   |  |
| 1  | 4НФ / NPh        | 0,04   | 99,90   | 2,8  |
| 2  |                  | 0,08   | 94,50   | 1,0  |
| 3  |                  | 0,12   | 93,73   | 2,9  |
| 4  | 2,6ДНФ / dNPh    | 0,04   | 88,89   | 0,9  |
| 5  |                  | 0,08   | 72,41   | 0,5  |
| 6  |                  | 0,12   | 64,00   | 1,0  |



Теоретическое значение химического потребления кислорода (ХПК) формально определяется как такая масса окислителя в пересчёте на кислород, выраженная в мг/мг, при которой весь углерод, водород, сера, фосфор и другие элементы (кроме азота), если они присутствуют в органическом веществе, окисляются до их высших оксидов.

Расчет ХПК производили по формуле вещества (1):

$$\text{ХПК}_{\text{вещ}} = \frac{16}{M_{\text{вещ}}} \sum N_I K_I, \quad (1)$$

исходя из количества атомов элементов  $N_I$ , стехиометрии окисления элемента  $K_I$  и молекулярной массы вещества [12].

При сопоставлении величины ХПК с полученными данными степени деструкции (рис. 5) показано, что строение вещества и высокая молекулярная масса не всегда может определить ход деструктивного процесса, зачастую стабильность органического поллютанта и его устойчивость к деструкции определяется взаимным влиянием заместителей в структуре молекулы, однако в большинстве случаев величина ХПК является информативной единицей: его высокие значения соответствуют низким значениям полученной деструкции и наоборот.

Также были рассчитаны квантовые выходы фотодеструкции субстратов для средних значений концентраций (0,08 мМ), табл. 3.

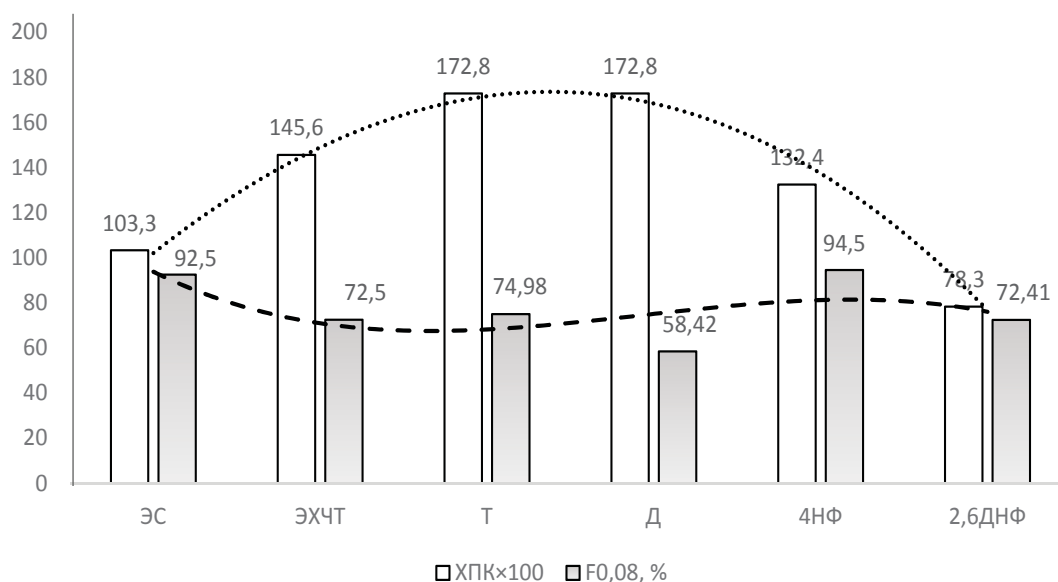


Рис. 5. Сопоставление величины ХПК со степенью деструкции субстратов при средних значениях концентраций (0,08 мМ)

Fig. 5. Comparison of the amount of chemical oxygen consumption with the degree of destruction of substrates at average concentrations (0.08 mM)

Таблица 3 / Table 3

**Квантовые выходы реакций фотолиза**  
**Quantum yields of photolysis reactions**

| № | Система / System | $\phi \times 100$ | Погрешность расчета / Calculation error  |
|---|------------------|-------------------|--|
| 1 | ЭХЧТ             | 1.38              | 0,01-0,02 ± 0,002<br>0,02-0,03 ± 0,004<br>0,04-0,05 ± 0,007<br>0,09-0,11 ± 0,015 |
| 2 | ЭС               | 4.92              |  |
| 3 | Т                | 1.43              |  |
| 4 | Д                | 2.89              |  |
| 5 | 4НФ              | 2.06              |  |
| 6 | 2,6ДНФ           | 11.08             |  |

Световой поток  $0,5114 \times 10^{-7}$  Энштейн/с =  $3,079 \times 10^{16}$  квант/с определяли по методу с использованием раствора ферриоксалатного актинометра.

Число поглощенных квантов монохроматического света определяли по измеренной квантовой интенсивности светового потока, падающего на кювету с раствором, и известному поглощению раствора в данной спектральной области.

Квантовые выходы фотодеструкции рассчитывались по формуле 2 [20]:

$$\phi = \frac{\Delta DN_A V}{I(\epsilon - \epsilon_{\text{эф}})(1 - T)ISl}, \quad (2)$$



где  $\Delta D$  – изменение оптической плотности в максимуме длинноволновой полосы поглощения ( $\lambda_{\max}$ ) при толщине слоя  $l$ , см, за время облучения  $t$ , 1 ч = 60 мин = 3600 с;  $N_A$  – число Авогадро;  $V$  – объем облучаемого раствора, 0,025 л;  $\epsilon$  – молярный коэффициент экстинкции исходного субстрата в максимуме его длинноволновой полосы поглощения ( $\lambda_{\max}$ );  $\epsilon_{\text{эф}}$  – эффективный молярный коэффициент поглощения фотопродуктов в максимуме длинноволновой полосы поглощения исходного субстрата ( $\lambda_{\max}$ );  $T$  – пропускание облучаемого раствора на длине волны возбуждающего света;  $I$  – световой поток, квант/(с $\times$ см<sup>2</sup>);  $S$  – площадь облучения, см<sup>2</sup>. Погрешность определения квантовых выходов составляла 15%.

Квантовый выход меньше 1 может быть обусловлен не только обратной реакцией, но и другими причинами. Часто  $\phi < 1$  наблюдается в случае реакций, протекающих в растворах. В случае реакции в растворах  $\phi < 1$  обусловлен не только рекомбинацией возникших при облучении продуктов реакции, но в значительной степени дезактивацией возбуждающих молекул молекулами-растворителями.

Тем не менее, степень деструкции изученных субстратов значительна, поэтому фотолиз данных систем является весьма эффективным.

### Заключение

Изучены деструктивные процессы модельных систем различных поллютантов. Показано, что эриохром черный и эриохром синий, тетрациклин и доксициклин, а также 4-нитрофенол и 2,6-динитрофенол уже в течение первого часа подвергаются фотодеструкции. Рассчитаны кинетические характеристики данных процессов: начальная скорость, степень деструкции, ХПК и квантовые выходы.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что УФ-облучение можно рассматривать как перспективный метод инактивации различных поллютантов.

### Список литературы

1. Демин А. П. Сброс сточных вод и загрязнение водных объектов реки Волга (1990–2018 гг.) // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2020. Т. 1, № 5. С. 138–143.
2. Войтович А. А., Джейранова М. О., Солтаева М. А., Котранова М. В., Булудова М. В. Гигиеническая оценка химического загрязнения малых рек Саратовской области // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. С. 9.
3. Кумани М. В., Соловьева Ю. А., Корнилов А. Г. Особенности фенольного загрязнения рек Курской и Белгородской областей // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 15 (110). С. 193–198.
4. Bayratova A. R. Impact oil pollution on soil fertility // East European Scientific Journal. 2021. № 10-2 (74). С. 40–42.
5. Трублаевич Ж. Н., Лукьянова Н. Н., Бабкина Э. И. Мониторинг загрязнения почв пестицидами: влияние высушивания проб почвы на обнаружение пестицидов // Агрохимия. 2007. № 2. С. 58–65.
6. Татаринцов В. В. Химическое загрязнение атмосферы и оценка условий, влияющих на уровень загрязнения окружающей среды на аэродроме «Воронеж-Б» // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (19 апреля 2013 г., Воронеж). Воронеж : Воронежский институт ГПС, 2013. С. 123–125.
7. Shorin S. S., Mashzhan A. S. Influence of various pollutants to the environment on metabolic status laboratory animals organism // Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography Series. 2018. Vol. 91, № 3. P. 107–113.
8. Логоминова И. В., Малахова Л. В., Малахова Т. В., Артов А. М., Коростелева А. В., Постникова А. Н. Новые данные о хлорорганических поллютантах в подкожном жире черноморских китообразных // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного заповедника РАН. 2018. № 4 (8). С. 16–25.
9. Почтаева И. А., Иозус А. П. Влияние текстильной промышленности на загрязнение атмосферы // Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы XV Всероссийской заочной научно-практической конференции / Волгоградский государственный технический университет (Камышинский филиал). Волгоград, 2021. С. 67–70.
10. Ustinova M. N., Lebedeva O. E. Oxidative Inactivation of Drugs // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2014. № 5 (5). P. 1687–1690.
11. Баренбойм Г. М. Загрязнение природных вод лекарствами. М. : Наука, 2015. 283 с.
12. Устинова М. Н. Окислительная деструкция как способ инактивации экополлютантов фармацевтического происхождения: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Белгород, 2012. 20 с.
13. Бугрова А. Н., Власова А. А., Ротанова В. А., Сочнева А. С., Торопова А. И. Химические пе-





- стициды и их влияние // Современные научные исследования и инновации. 2020. № 12 (116). С. 10.
14. *Нагиев Р. Н.* Влияние пестицидов на окружающую среду // Проблемы естествознания: история и современность: сборник научных трудов по материалам всероссийской научно-практической конференции. Ставрополь : ООО «Секвойя», 2018. С. 112–114.
  15. *Vasilescu M. V., Epikhin A. I.* Ballast water treatment system method to protect the environment // Эксплуатация морского транспорта. 2022. № 3 (104). С. 99–106.
  16. *Козлова М. А.* Лекарственное загрязнение природных и сточных вод: методы очистки и результаты исследования // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т.16, № 1. С. 77–80.
  17. *Устинова М. Н., Жунусов Н. С.* Деструкция действующего вещества тетрациклина под действием УФ-облучения // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 246–253. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-246-253>
  18. *Устинова М. Н., Филиппова К. А.* Окислительная деструкция тетрациклина различными пероксидными системами // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. 2021. № 4 (46). С. 68–79
  19. *Емашова Н. А.* Кинетические закономерности конверсии азокрасителей и продуктов их распада анаэробным и аэробным консорциумами микроорганизмов: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 2006. 28 с.
  20. *Ковальская Н. Е., Кузнецова Н. А., Соколова И. В.* Спектральное определение квантовых выходов фотодеструкции псораленов в водных и спиртовых средах // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17, № 2-3. С. 221–224.
  5. *Trublaevich Zh. N., Lukyanova N. N., Babkina E. I.* Monitoring of soil contamination with pesticides: The effect of drying soil samples on the detection of pesticides. *Agrochemistry*, 2007, vol. 2, pp. 58–65 (in Russian).
  6. *Tatarinov V. V.* Chemical pollution of the atmosphere and assessment of conditions affecting the level of environmental pollution at the Voronezh-B airfield. In: *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy. Sbornik statei po materialam Vserossiiskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (19 apr. 2013 g., Voronezh)* [Modern technologies for civil defense and emergency response. collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation (April 19, 2013, Voronezh)]. Voronezh, Voronezh Institute of State Fire Service, 2013, pp. 123–125 (in Russian).
  7. *Shorin S. S., Mashzhan A. S.* Influence of various pollutants to the environment on metabolic status laboratory animals organism. *Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography Series*, 2018, vol. 91, no. 3, pp. 107–113.
  8. *Logominova I. V., Malakhova L. V., Malakhova T. V., Artov A. M., Korosteleva A. V., Postnikova A. N.* New data on organochlorine pollutants in subcutaneous fat of Black Sea cetaceans. *Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T. I. Vyazemsky – Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences*, 2018, vol.4 (8), pp. 16–25 (in Russian).
  9. *Pochitaeva I. A., Iozus A. P.* The influence of the textile industry on atmospheric pollution. In: *Innovatsionnye tekhnologii v obuchenii i proizvodstve. Materialy XV Vserossiyskoy zaочноy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative technologies in education and production. Materials of the XV All-Russian Correspondence Scientific and Practical Conference]. Volgograd, Volgograd State Technical University. 2021, pp. 67–70 (in Russian).
  10. *Ustinova M. N., Lebedeva O. E.* Oxidative Inactivation of Drugs. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2014, vol. 5 (5), pp. 1687–1690.
  11. *Barenbojm G. M.* *Zagryaznenie prirodnih vod lekarstvami* [Pollution of Natural Waters by Medicines]. Moscow, Nauka, 2015. 283 p. (in Russian).
  12. *Ustinova M. N.* *Oxidative Degradation as a Method of Inactivation of Pollutants of Pharmaceutical Origin*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Chem.). Belgorod, 2012. 20 p. (in Russian).
  13. *Bugrova A. N., Vlasova A. A., Rotanova V. A., Sochneva A. S., Toropova A. I.* Chemical pesticides and their influence. *Modern Scientific Research and Innovations*, 2020, no. 12 (116), pp. 10.
  14. *Nagiyev R. N.* The impact of pesticides on the environment. In: *Sbornik nauchnykh trudov po materialam vserossiiskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems

## References

1. *Demin A. P.* Waste discharge and water pollution in the volga river basin (1990–2018 gg). *Ecology, Economy, Informatics: System Analysis and Mathematical Modeling of Ecological and Economic Systems*, 2020, vol. 1, no. 5, pp. 138–143 (in Russian).
2. *Voytovich A. A., Dzheyranova M. O., Soltaeva M. A., Kotranova M. V., Buludova M. V.* Hygienic assessment of chemical contamination of small rivers of the Saratov region. *International Student Scientific Bulletin*, 2019, vol. 1, pp. 9 (in Russian).
3. *Kumani M. V., Solovyova Yu. A., Kornilov A. G.* Features of phenolic pollution of rivers of Kursk and Belgorod region. *Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural Sciences*, 2011, vol. 15 (110), pp. 193–198 (in Russian).
4. *Bayramova A. R.* Impact oil pollution on soil fertility. *East European Scientific Journal*, 2021, vol. 10-2 (74), pp. 40–42.



- of natural science: History and modernity. Collection of scientific papers based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference]. Stavropol, ООО "Sekvoya", 2018, pp. 112–114 (in Russian).
15. Vasilescu M. V., Epikhin A. I. Ballast water treatment system method to protect the environment. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*, 2022, no. 3 (104), pp. 99–106.
  16. Kozlova M. A. Medicinal pollution of natural and wastewater: Purification methods and research results. *The North Caucasus Ecological Herald*, 2020, vol. 16, no. 1, pp. 77–80 (in Russian).
  17. Ustinova M. N., Zhunusov N. S. UV degradation of the active substance of tetracycline. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 246–253 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-246-253>
  18. Ustinova M. N., Filippova K. A. Oxidative degradation of tetracycline by various peroxide systems. *Bulletin of Tver State University. Series: Chemistry*, 2021, vol. 4 (46), pp. 68–79 (in Russian).
  19. Emashova N. A. *Kinetic patterns of conversion of azo dyes and their decay products by anaerobic and aerobic consortia of microorganisms*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Chem.). Moscow, 2006. 28 p.
  20. Kovalskaya N. E., Kuznetsova N. A., Sokolova I. V. Spectral determination of quantum yields of photodestruction of psoralenes in aqueous and alcoholic media. *Optics of the Atmosphere and Ocean*, 2004, vol. 17, no. 2–3, pp. 221–224 (in Russian).

Поступила в редакцию 17.05.2023; одобрена после рецензирования 19.06.2023; принята к публикации 24.06.2023  
The article was submitted 17.05.2023; approved after reviewing 19.06.2023; accepted for publication 24.06.2023