

## ФИЗИКА

УДК 535.341:535.36:535.361

DOI: 10.21779/2542-0321-2023-38-1-7–15

А.А. Муртазаева<sup>1,2</sup>, К.М. Гираев<sup>1,2</sup>, Н.А. Ашурбеков<sup>1</sup>, Э.Х. Исрапов<sup>1,2</sup>,  
М.А. Магомедов<sup>1,2</sup>, Н.К. Иминова<sup>3</sup>

### Влияние хронической интоксикации хлорорганическим пестицидом на оптические спектры клеток нервной ткани

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»; Россия, 367000, Махачкала, ул. Гаджиева, 43а; nashurb@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт физики им. Х.И. Амирханова» ДФИЦ РАН; Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 94.

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет»; Россия, 367000, г. Махачкала, пл. Ленина, 1

Измерены спектры коэффициента диффузного отражения суспензий синапсом карпа обыкновенного в норме и по мере воздействия пестицида тиометоксам в концентрации 50 ПДК. Определены спектры коэффициентов оптического поглощения и транспортного рассеяния в диапазоне длин волн 250–2000 нм. Установлено, что в процессе развития хронической интоксикации наблюдается увеличение концентрации липидов и порфиринов, а также снижение концентрации аминокислот за счет переноса части энергии от тирозина к битирозину. Показано, что коэффициент транспортного рассеяния сформирован светорассеянием на рэлеевских частицах, а воздействие токсиканта не приводит к существенной дифференциации спектров рассеяния.

Ключевые слова: синапсомы, хлорорганические пестициды, интоксикация, спектрофотометрия, оптические коэффициенты, поглощение, рассеяние света, диагностика.

### Введение

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения одним из наиболее распространенных пестицидов, широко используемых в жизнедеятельности человека, являются хлорорганические пестициды группы неоникотиноидов [1; 2]. Характерной особенностью этих токсикантов является оказание нейротоксического действия. Известно, что продолжительное воздействие хлорорганических пестицидов вызывает ярко выраженное ингибирование ацетилхолинэстеразы и  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФазы, а соответственно и торможение активности нервных клеток ткани мозга [3; 4]. Подобные нарушения в нервной ткани являются причиной существенных изменений в структуре и функционировании нервных окончаний, что может быть выявлено путем комплексных исследований синапсом. Последние представляют собой изолированные синаптические образования, содержащие окончания нервных отростков, несущие морфологические особенности и сохраняющие большинство химических свойств исходных нервных окончаний [5; 6]. Поскольку синапсомы содержат молекулярные механизмы, необходимые для поглощения, хранения и высвобождения нейротрансмиттеров, то, как правило, их используют для изучения синаптической передачи в условиях *in vitro*.

Цель данной работы – исследование влияния хронической интоксикации хлорорганическим пестицидом на динамику спектрально-оптических свойств синапсом. По результатам проведенных исследований выявлены морфологические характеристики и обсуждается механизм воздействия токсиканта на биохимические свойства биообъекта.

### Материалы и методы

В качестве клеток нервной ткани использовались образцы синапсом, выделенные из головного мозга карпа обыкновенного в норме и при различных стадиях интоксикации пестицидами группы неоникотиноидов – Актара. Для моделирования интоксикации особи рыб помещались в аквариумы, куда предварительно добавлялся раствор токсиканта в концентрации 50 ПДК. На 15 и 30 сутки затравки особи рыб извлекались из аквариумов, и далее проводилось выделение синапсом на ультрацентрифуге модели OPTIMAL-90KCE (*Beckman Coulter, США*) по методу дифференциального центрифугирования в условиях градиента плотности сахарозы [7]. Спектральным исследованиям были подвергнуты три группы биообъектов: суспензии синапсом, полученные от 15 рыб, содержащихся без токсиканта (*контрольные образцы*); суспензии синапсом, полученные от 15 рыб при затравке 15 суток (*средняя стадия интоксикации*) суспензии синапсом, полученных от 15 рыб при затравке 30 суток (*высокая стадия интоксикации*). Полученные культуры суспензий помещались в кварцевые кюветы и имели размеры 10,0×10,0×7,0 мм.

Измерение спектров коэффициента диффузного отражения –  $R_d(\lambda)$  суспензий биосред проводилось на спектрометрическом комплексе с использованием Y-образного волоконно-оптического зонда, состоящего из двух световодных каналов (передающего и принимающего) и контактного катетера, в котором эти каналы размещались коаксиально. Возбуждение фотосигналов осуществлялось посредством дейтериевой/галогенной лампы AvaLight-DH-S-BAL (*Avantes, Нидерланды*), а регистрация – при помощи спектрометра MS3504i (*SOL-Instruments, Белоруссия*) в интервале длин волн 250–2000 нм.

Конечное значение коэффициента диффузного отражения рассчитывалось как  $R_d = k \left( \frac{R_d^s - R_0}{R_{100} - R_0} \right)$ , где  $R_d^s$  – интенсивность диффузного отражения, измеренная для образца биосреды;  $R_{100}$  – интенсивность падающего излучения, измеренная по величине ее отражения от референсного отражателя WS-2 (*Avantes, Нидерланды*);  $R_0$  – фоновый сигнал, измеренный от пластинки WS-2 в отсутствии освещения;  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий искажения, вносимые измерительным зондом в сигнал обратного рассеяния вследствие ограниченности приемного угла световодов. Поправочный коэффициент определялся калибровкой волоконно-оптической системой при помощи интегрирующей сферы Avasphere-50 (*Avantes, Нидерланды*).

Определение спектральной зависимости коэффициентов оптического поглощения –  $\mu_a(\lambda)$  и транспортного рассеяния –  $\mu'_s(\lambda)$  образцов синапсом осуществлялось при помощи инверсного метода Монте-Карло в приближении полубесконечной среды на основе спектральных данных коэффициента диффузного отражения  $R_d(\lambda)$ . Алгоритм используемого метода вкратце представляет собой последовательную реализацию следующих шагов:

1. Вычисление начальных приближений параметров  $\mu_a(\lambda)$  и  $\mu'_s(\lambda)$  на основе экспериментальных данных  $R_d^{Exp}(\lambda)$ , как в [8–10]:

$$R_d^{Exp}(\lambda) = \exp \left\{ \kappa \left[ 3 \left( 1 + \frac{\mu'_s(\lambda)}{\mu_a(\lambda)} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}, \quad (1)$$

$$\mu_a(\lambda) = \mu_a^{chrom}(\lambda) + \mu_a^{dry}(\lambda), \quad (2)$$

$$\mu_a^{chrom}(\lambda) = V_{AA}\mu_a^{AA}(\lambda) + V_W\mu_a^{Water}(\lambda) + V_L\mu_a^{Lipid}(\lambda), \quad (3)$$

где  $\mu_a(\lambda)$  и  $\mu'_s(\lambda)$  – спектры соответственно коэффициентов поглощения и транспортного рассеяния проб синапсом;  $\kappa$  – постоянная, зависящая от показателя преломления биосреды;  $\lambda$  – длина волны;  $\mu_a^{dry}(\lambda)$  – спектр коэффициента поглощения биосреды в отсутствии воды, липидов и аминокислот;  $\mu_a^{AA}(\lambda)$  – спектр коэффициента поглощения аминокислот, равный сумме коэффициентов поглощения триптофана, тирозина и фениланина,  $\mu_a^{AA}(\lambda) = \mu_a^{Tryp}(\lambda) + \mu_a^{Tyr}(\lambda) + \mu_a^{Phe}(\lambda)$ ;  $\mu_a^{Water}$  – спектр поглощения воды;  $\mu_a^{Lipid}$  – спектр поглощения липидов (см., например, [11; 12]);  $V_{AA}$ ,  $V_W$  и  $V_L$  – параметры, характеризующие объемную долю соответствующих хромофоров.

Спектральная зависимость показателя  $\mu'_s(\lambda)$  может быть с хорошей точностью аппроксимирована двухстепенной функцией типа [13]:

$$\mu'_s(\lambda) = A_M\lambda^{-B_M} + A_R\lambda^{-B_R}, \quad (4)$$

где  $A_M$  и  $A_R$  – безразмерные параметры, являющиеся функциями концентрации рассеивающих частиц (соответственно Ми и Рэлея), формирующие общий уровень коэффициента  $\mu'_s$ , тогда как волновые экспоненты  $B_M$  и  $B_R \rightarrow 4$  характеризуют средний размер рассеивающих частиц и определяют угол наклона спектров коэффициента  $\mu'_s$ .

2. Вычисление расчетных параметров спектрального коэффициента диффузного отражения –  $R_d^{Calc}(\lambda)$  по значениям начальных приближений коэффициентов  $\mu_a(\lambda)$  и  $\mu'_s(\lambda)$ , используя метод ИММК.

3. Построение целевой функции и ее минимизация:  $F = (R_d^{Exp}(\lambda) - R_d^{Calc}(\lambda))^2$ .

4. Реализация процедуры минимизации на основе симплексного метода Нелдера–Мида [14] до выполнения условия:  $\frac{|R_d^{Exp}(\lambda) - R_d^{Calc}(\lambda)|}{R_d^{Exp}(\lambda)} \leq 0.01$ .

Окончательный результат по исследуемым образцам определялся путем усреднения серийных измерений по среднеквадратичному отклонению:  $\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\xi - \xi_i)^2 / n(n-1)}$ , где  $n$  – число серий измерений,  $\xi_i$  – спектры коэффициентов поглощения и рассеяния для  $i$ -той серии,  $\xi$  – среднее значение поглощения и рассеяния проб биосред в каждой спектральной точке, найденное как  $\sum_{i=1}^n \xi_i / n$ . Таким образом, каждые из представленных в работе спектральных данных  $\mu_a(\lambda)$  и  $\mu'_s(\lambda)$  есть усредненные значения статистического материала, отобранного и систематизированного по исследуемым биосредам.

### Результаты и обсуждение

Типичные спектры коэффициента диффузного отражения –  $R_d(\lambda)$  для проб синапсом в норме и по мере развития интоксикации хлорорганическим пестицидом показаны на рисунке 1. Как видно из рисунка, характер спектральной зависимости оптических свойств исследуемых биосред имеет как ряд общих закономерностей, так и отличительные особенности. Так, например, форма спектрального контура коэффициента отражения имеет многокомпонентную структуру и на фоне обратного рассеяния, которое определяет величину  $R_d(\lambda)$ , характеризуется наличием глубоких минимумов в области длин волн  $280 \pm 5.0$ ,  $1460 \pm 10.0$  и  $1930 \pm 10.0$  нм, а также интенсивным «плато» в

интервале длин волн 500–1300 нм. Абсолютные значения коэффициента диффузного отражения для проб синапсом в норме лежат в пределах от  $0.04 \pm 0.02$  в УФ и БИК-области до  $0.5 \pm 0.1$  в видимой области спектра.

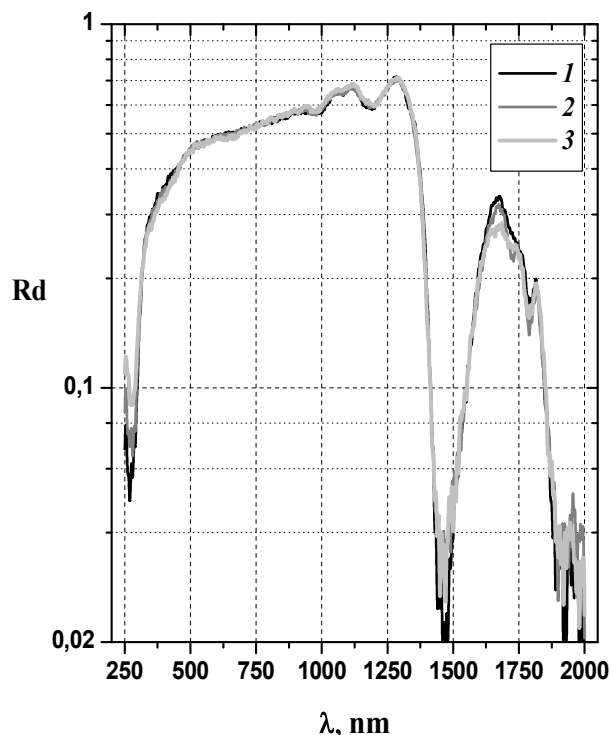


Рис. 1. Спектры коэффициента диффузного отражения  $R_d(\lambda)$  для проб синапсом в норме (кривая 1), при средней стадии (кривая 2) и при высокой стадии (кривая 3) интоксикации хлорорганическим пестицидом тиаметоксам

По мере развития процессов интоксикации происходит рост интенсивности отражения до 2 раз на длине волны  $280 \pm 5.0$  нм. Кроме того, обнаружено незначительное снижение (в пределах 15–20 %) значений  $R_d(\lambda)$  вблизи длин волн  $418 \pm 5$ ,  $650 \pm 5$ ,  $1725 \pm 5$  и  $1780 \pm 5$  нм, тогда как в других спектральных областях существенных изменений не наблюдается. Данный факт, по-видимому, связан с изменениями в соотношении концентраций эндогенных хромофоров в клетках нервной ткани при воздействии токсиканта.

Применение методики (1)–(4) позволило по результатам измерения спектров коэффициента диффузного отражения  $R_d(\lambda)$  определить оптические коэффициенты поглощения  $\mu_a(\lambda)$  и транспортного рассеяния  $\mu'_s(\lambda)$  для исследуемых проб синапсом.

Спектральная зависимость этих коэффициентов  $\mu_a(\lambda)$  и  $\mu'_s(\lambda)$  показана на рисунках 2 и 3. Как видно из рисунков, спектры коэффициента поглощения –  $\mu_a(\lambda)$  (рисунок 2) зеркально симметричны коэффициенту диффузного отражения, однако, в отличие от  $R_d(\lambda)$ , обнаруживают ряд дополнительных компонентов. В частности, сопоставление полученных результатов с известными литературными и справочными данными (см., например, [11; 12]) показывает, что в коротковолновой области спектра коэффициент  $\mu_a(\lambda)$  достигает максимума ( $\sim 2.0 \pm 0.3 \text{ мм}^{-1}$ ) с образованием четко выраженного экстремума вблизи длин волн  $280 \pm 5$  нм и образован поглощением комплекса гетероциклических ароматических аминокислот – тирозином и триптофаном.

С ростом длины волны коэффициент поглощения биосред монотонно снижается и на спектральном участке 1000–1300 нм (область терапевтического окна) достигает минимальных значений  $\sim 0.023 \pm 5.0e - 3 \text{ мм}^{-1}$ , уменьшаясь более чем в 100 раз.

В ближнем инфракрасном диапазоне коэффициент поглощения вновь растет, принимая значение  $\mu_a(\lambda) \sim 2.4 \pm 0.4 \text{ мм}^{-1}$ , с образованием максимумов на длинах волн поглощения воды –  $1200 \pm 5$ ,  $1460 \pm 10$  и  $1925 \pm 10$  нм и липидных комплексов –  $1725 \pm 5$  и  $1780 \pm 5$  нм. При этом хорошо различимый экстремум вблизи длин волн  $1200 \pm 5$  нм, по-видимому, является комбинацией полос поглощения воды и липидов на длинах волн 1190 и 1212 нм [11; 12].

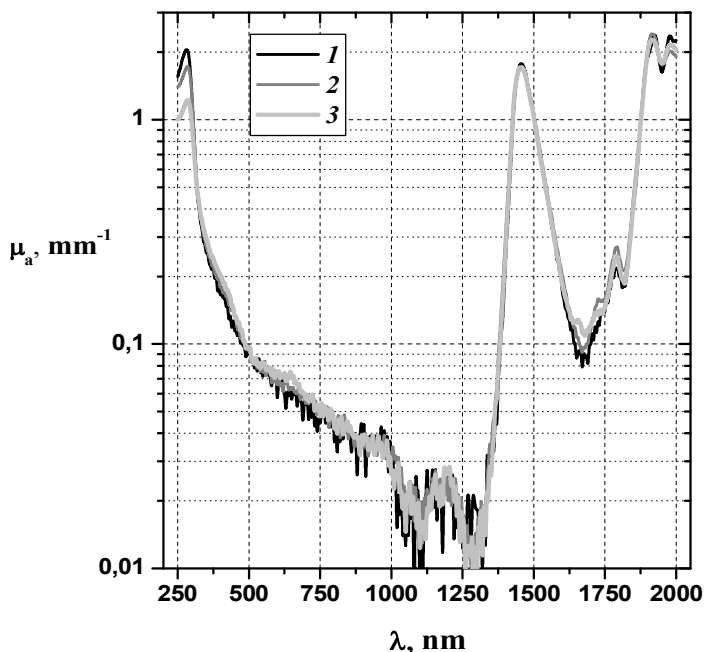


Рис. 2. Спектры коэффициента поглощения  $\mu_a(\lambda)$  для проб синапсом в норме (кривая 1), при средней стадии (кривая 2) и при высокой стадии (кривая 3) интоксикации хлорорганическим пестицидом тиаметоксом

В то же время смещение максимумов поглощения воды с 1425 на 1460 нм и с 1930 на 1925 нм вызвано изменениями в структурах электронно-колебательных переходов молекул воды вследствие связывания воды с молекулами протеинов внутриклеточного матрикса и структурными компонентами клеточных мембран, митохондрии и везикул, содержащихся в большом количестве в клетках синапсом [15; 16].

Вместе с тем оптическим спектрам исследуемых биосред свойственны явные отличительные особенности, что в принципе указывает на возможность использования методов спектрофотометрии в токсикологическом мониторинге биологических объектов. Так, например, длительное воздействие хлорорганических пестицидов приводит к изменению как формы, так и интенсивности спектра коэффициента поглощения. Относительно нормы развитие хронических форм интоксикации в синапсомах сопровождается уменьшением коэффициента  $\mu_a$  до 1.5 раз вблизи полос поглощения аминокислот и ростом его значений до 25 % в области длин волн  $418 \pm 5$ ,  $650 \pm 10$ ,  $1725 \pm 5$  и  $1780 \pm 5$  нм. Данный факт свидетельствует в пользу значительного снижения содержания аминокислот и увеличения концентрации липидов и промежуточных продуктов обмена – производных порфириновых групп, что также подтверждается результатами флуоресцентных исследований. Кроме того, снижение интенсивности поглощения

аминокислот, возможно, вызвано переносом части энергии от тирозина белков к битирозину, для спектральных характеристик которого характерен батохромный сдвиг полосы поглощения. Данный факт достоверно указывает на усиление свободно-радикальных процессов по мере развития интоксикации, поскольку битирозин является маркером окислительной модификации белков, связанной с реакциями активных форм кислорода [17–19].

Спектральная зависимость, аналогичная коэффициенту поглощения  $\mu_a(\lambda)$ , наблюдается и для коэффициента транспортного рассеяния  $\mu'_s(\lambda)$  (рис. 3). В частности, спектры  $\mu'_s(\lambda)$  для проб синапсом представляют собой гладкую кривую, достигающую максимальных значений в спектральном интервале 250–400 нм, плавно нисходящую в инфракрасную область спектра и образующую спектральные минимумы вблизи полос поглощения комплекса аминокислот и воды на длинах волн  $280\pm 5$ ,  $1460\pm 10$  и  $1925\pm 10$  нм.

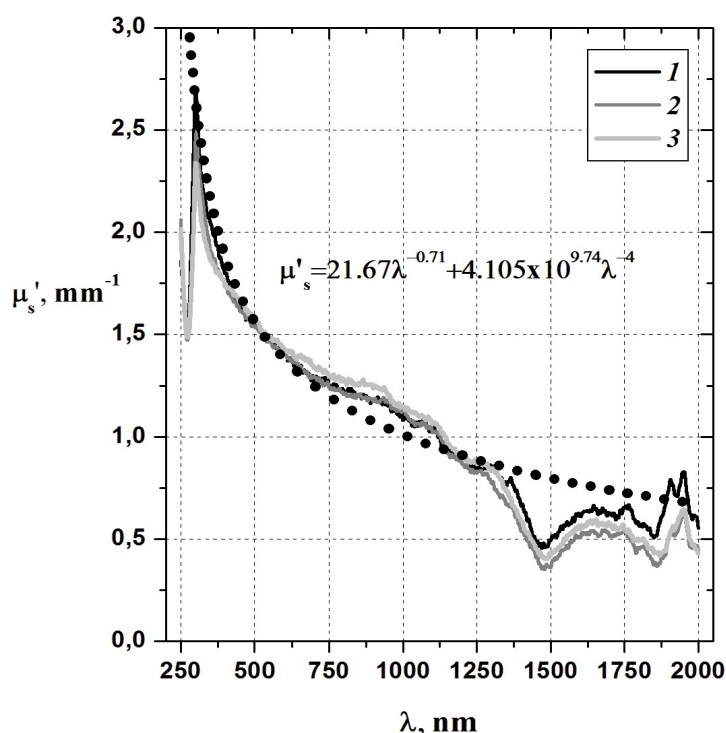


Рис. 3. Спектры коэффициента транспортного рассеяния  $\mu'_s(\lambda)$  для проб синапсом в норме (кривая 1), при средней стадии (кривая 2) и при высокой стадии (кривая 3) интоксикации хлорорганическим пестицидом тиаметоксам. Пунктирная линия – аппроксимация коэффициента  $\mu'_s(\lambda)_{calc}$  двухстепенной функцией согласно выражению (4)

Факт нисходящей спектральной зависимости этого параметра свидетельствует о том, что с ростом длины волны для проб синапсом существенно возрастает вклад рэлеевского рассеяния и снижается роль рассеяния Ми. В то же время факт обратной симметрии полос поглощения и рассеяния может быть вызван несколькими причинами, одной из которых является резкий рост неоднородности мнимой составляющей комплексного показателя преломления среды вблизи полос сильного поглощения. Другим механизмом обнаруженной зависимости является эффект усиления оптического поглощения в области сильного рассеяния, когда вследствие увеличения числа актов взаимодействия с эндогенными хромофорами на длине свободного пробега уменьшается количество фотонов многократного рассеяния. Упомянутые вкратце механизмы хоро-

шо изучены при спектрально-оптических исследованиях сильнорассеивающих сред и детально описаны в работах [20; 21].

Применение методики среднеквадратического отклонения для выявления погрешности в определении оптических коэффициентов позволило установить, что максимальный статистический разброс значений наблюдался для коэффициента поглощения, который достигал  $\sigma_{\mu_a} \sim 40\%$  в видимой области спектра на длинах волн  $280 \pm 5$ ,  $1460 \pm 10$  и  $1925 \pm 10$  нм. В сравнении с этим статистический разброс значений для коэффициента транспортного рассеяния был значительно ниже и не превышал порога в  $\sigma_{\mu_s} < 10\%$  от величины полезного сигнала по всему спектральному диапазону проведенных исследований.

Анализ коэффициента анизотропии рассеяния биотканей путем его аппроксимации степенной функцией вида  $\mu'_s(\lambda) = a\lambda^{-b}$  [13] позволяет с достаточной точностью спрогнозировать спектр  $\mu'_s(\lambda)$  функцией, которая для исследуемых проб синапсом в норме принимает вид:

$$\mu'_s(\lambda)_{Calc} = 21.67\lambda^{-0.71} + 4.105 \times 10^{9.74}\lambda^{-4}.$$

Следует отметить, что аппроксимация коэффициента двухстепенной функцией свидетельствует о формировании спектров  $\mu'_s(\lambda)$ , как минимум, двумя типами частиц. Причем первое слагаемое этой функции с волновым экспонентом  $b \sim 0.71$  отвечает за светорассеяние, вызванное достаточно крупными частицами (рассеиватели Ми), в качестве которых в клетках синапсом могут выступать митохондрии и другие крупные органеллы. Второе слагаемое с волновым экспонентом  $b \sim 4$  соотносится с рэлеевскими частицами, соответствующими, по-видимому, многочисленным маленьким прозрачным синаптическим пузырькам – везикулам и др. [4; 5].

В то же время анализ спектров коэффициента транспортного рассеяния для проб синапсом по мере развития хронических форм интоксикации не показал существенной дифференциации в значениях  $\mu'_s(\lambda)$  и, как следствие, в выражении аппроксимирующих функций. Можно предположить, что в соответствии с видом полученного выражения коэффициенты транспортного рассеяния для исследуемых биосред сформированы рассеянием света, преимущественно на малых (рэлеевских) частицах диаметром не более  $d_p \leq 0.1$  мкм, концентрация которых существенно превышает ( $\sim 10^9$  раз) концентрацию крупных частиц. При этом воздействие токсиканта не приводит к значительным морфологическим изменениям в синапсомах, а сводится к изменениям в соотношении концентраций эндогенных хромофоров.

### Заключение

Анализ и обобщение результатов влияния процессов интоксикации на спектрально-оптические и морфологические свойства проб клеток нервной ткани позволяют сделать следующие выводы:

1. Форма спектрального контура коэффициента отражения имеет многокомпонентную структуру и характеризуется наличием глубоких минимумов в области длин волн  $280 \pm 5.0$ ,  $1460 \pm 10.0$  и  $1930 \pm 10.0$  нм, а также интенсивным «плато» в интервале длин волн 500–1300 нм. Развитие интоксикации приводит к росту интенсивности отражения до 2 раз на длине волны  $280 \pm 5.0$  нм и к снижению на 15–20 % значений  $R_d(\lambda)$  вблизи длин волн  $418 \pm 5$ ,  $650 \pm 5$ ,  $1725 \pm 5$  и  $1780 \pm 5$  нм.

2. Спектры коэффициента поглощения клеток синапсом зеркально симметричны коэффициенту отражения и сформированы преимущественно полосами поглощения групп аминокислот – триптофана и тирозина на длине волны  $280 \pm 5$  нм и молекул воды –  $1455 \pm 5$  и  $1930 \pm 5$  нм, однако поглощение липидных комплексов может быть также различимым вблизи длин волн  $1725 \pm 5$  и  $1780 \pm 5$  нм.

3. Развитие интоксикации сопровождается уменьшением коэффициента поглощения до 1.5 раз вблизи полос поглощения аминокислот и ростом его значений до 20 % в области длин волн  $418 \pm 5$  нм,  $650 \pm 10$ ,  $1725 \pm 5$  и  $1780 \pm 5$  нм, что вызвано увеличением концентрации липидов и промежуточных продуктов обмена, а также снижением концентрации аминокислот за счет переноса части энергии от тирозина белков к битирозину с батохромным сдвигом полос поглощения.

4. Спектрально-оптическими методами установлено и подтверждено результатами электронной микроскопии, что коэффициент транспортного рассеяния  $\mu'_s(\lambda)$  для исследуемых биосред сформирован рассеянием света, преимущественно на малых (рэлеевских) частицах диаметром не более  $d_p \leq 0.1$  мкм, концентрация которых существенно превышает ( $\sim 10^9$  раз) концентрацию рассеивателей Ми. При этом развитие интоксикации не приводит к существенной дифференциации в значениях спектров  $\mu'_s(\lambda)$ .

*Работа выполнена с использованием приборного парка ЦКП «Аналитическая спектроскопия» Дагестанского государственного университета.*

### Литература

1. Орлов Д.С., Садовникова Л.К. и др. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.
2. Каган Ю.С. Общая токсикология пестицидов. – Киев: Здоровье, 1995. – 176 с.
3. Самойлов В.О. Курс лекций по физиологии: в 2 т. Т. 1: Физиология возбужденных тканей, нервной системы, высшей нервной деятельности и анализаторов. – М.: ИнформМед, 2018. – 352 с.
4. Экклз Д.К. Физиология синапсов. – М.: Мир, 1966. – 397 с.
5. Савельев А.В. Методология синаптической самоорганизации и проблема дистальных синапсов нейронов // Журнал проблем эволюции открытых систем. 2006. Т. 8. – С. 96–104.
6. Дунаев А.В. и др. Оптическая неинвазивная диагностика в медико-биологической практике: лабораторный практикум; учебное пособие. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2016. – 96 с.
7. Hajos F. An improved method for the preparation of synaptosomal fractions in high purity // Brain Res. 1975. Vol. 93, no. 3. – Pp. 285–289.
8. Bydlon T.M, Nachabé R., Ramanujam N. et al. Chromophore based analyses of steady-state diffuse reflectance spectroscopy: current status and perspectives for clinical adoption // J. of Biophotonics. 2015. V. 8. – Pp. 9–24.
9. Bashkatov A.N., Genina E.A., Kochubey V.I. et al. Optical properties of human skin, subcutaneous and mucous tissues in the wavelength range from 400 to 2000 nm // J. Phys. D: Appl. Phys. 2005. Vol. 38. – Pp. 2543–2555.
10. Prahl S.A., van Gemert M.J.C., Welch A.J. Determining of the optical properties of turbid media by using the adding-doubling method // Appl. Optics. 1993. Vol. 32. – Pp. 359–368.
11. Jacques S.L. Optical properties of biological tissues: a review // Phys. Med. Biol. 2013. Vol. 58. – R37–R61.
12. Prahl S.A. (2018) Доступно: <https://omlc.org/spectra/index.html>
13. Bashkatov A.N., Genina E.A. and Tuchin V.V. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review // Journal of Innovative Optical Health Sciences. 2011. Vol. 4. – Pp. 9–38.
14. Банди Б. Методы оптимизации. – М.: Радио и связь, 1988. – 225 с.
15. Ленинджер А. Основы биохимии. – М.: Мир, 1985. Т. 1–3.



16. Бочкарев М.В., Ботнарь В.П., Василяки А.Ф. и др. Клиника, дифференциальная диагностика и лечение хронических интоксикаций пестицидами. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 298 с.
17. Джаксон М.Б. Молекулярная и клеточная биофизика. – М.: Бином, 2015. – 551 с.
18. Дубинина Е.Е., Тавровская С.В., Кузьмич Е.В. и др. Окислительная модификация белков: окисление триптофана и образование битирозина в очищенных белках с использованием системы Фентона // Биохимия. 2002. Т. 67. – С. 413–421.
19. Гираев К.М., Бекшоков К.С., Ашурбеков Н.А. и др. Спектрально-флуоресцентные исследования токсического влияния хлорорганических пестицидов на биохимические параметры синапсом // Оптика и спектроскопия. 2017. Т. 122, № 4. – С. 651–659.
20. Welch A.J. and van Gemert M.J.C. Optical-Thermal Response of Laser Irradiation Tissues. – 2nd edition: © Springer Science+Business Media B.V. 2011. – 958 p.
21. Тучин В.В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике. – М.: Физматлит, 2013. – 812 с.

*Поступила в редакцию 30 декабря 2022 г.*

UDC 535.341:535.36:535.361

DOI: 10.21779/2542-0321-2023-38-1-7–15

## **The Influence of Chronic Intoxication with an Organochlorine Pesticide on the Optical Spectra of Nervous Tissue Cells**

**A.A. Murtazaeva<sup>1, 2</sup>, K.M. Giraev<sup>1, 2</sup>, N.A. Ashurbekov<sup>1</sup>, E.Kh. Israpov<sup>1, 2</sup>,  
M.A. Magomedov<sup>1, 2</sup>, N.K. Iminova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Dagestan State University; Russia, 367000, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 43a; nashurb@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of Physics named after H.I. Amirkhanov, DSC RAS; Russia, 367000, Makhachkala, M. Yaragsky st., 94;

<sup>3</sup> Dagestan State Medical University; Russia, 367000, Makhachkala, sq. Lenina, 1.

The spectra of the diffuse reflectance of synaptosome suspensions of common carp in the norm and under the influence of the pesticide thiomethoxam at a concentration of 50 MPC were measured. The spectra of optical absorption and the transport scattering coefficients were determined in the wavelength range 250–2000 nm. It has been established that during the development of chronic intoxication the concentration of lipids and porphyrins increases, while the concentration of amino acids decreases due to the transfer of the part of the energy from tyrosine to bityrosine. It is shown that the transport scattering coefficient is formed by the light scattering on Rayleigh particles, and the effect of a toxicant does not lead to a significant differentiation of the scattering spectra.

**Keywords:** *synaptosomes, organochlorine pesticides, intoxication, spectrophotometry, optical coefficients, absorption, light scattering, diagnostics.*

*Received 30 December 2022*