

## СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ В ПРИБРЕЖЬЕ СЕВАСТОПОЛЯ

Серикова И.М.<sup>1</sup>, Токарев Ю.Н.<sup>1</sup>, Суслин В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН

*пр. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ*

*e-mail: irasimwin@yandex.ru*

<sup>2</sup> ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН

*ул. Капитанская, 2, г. Севастополь, 299011, РФ*

**Аннотация.** В работе представлены результаты анализа сезонной и межгодовой изменчивости поля биолюминесценции и температуры поверхности моря, проведенного по данным 6-летнего биофизического мониторинга в открытом море вблизи Севастополя. Сезонная изменчивости поля биолюминесценции в верхнем 10-метровом слое выше, чем во всем слое 0-60 м в 1,5 раза, и их межгодовой ход совпадает с таковым сезонной изменчивости среднемесячных показателей температуры поверхности моря. Динамика межгодовой изменчивости поля биолюминесценции в верхнем 10-метровом слое в основном определяется динамикой межгодовой изменчивости температуры поверхности моря. Это свидетельствует о единых механизмах, обуславливающих процессы развития полей биолюминесценции и температуры поверхности моря.

**Ключевые слова:** поле биолюминесценции, температура поверхности моря, светящиеся динофлагеллаты.

## SEASONAL AND INTERANNUAL VARIABILITY OF THE BIOLUMINESCENCE FIELD AND SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE SEVASTOPOL COASTAL ZONE

Serikova I.M.<sup>1</sup>, Tokarev Yu.N.<sup>1</sup>, Suslin V.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.O. Kovalevsky's Institute of Marine Biological Research of RAS

*Nakhimova av., 2, Sevastopol, 299011, Russia*

*e-mail: irasimwin@yandex.ru*

<sup>2</sup> Marine Hydrophysical Institute of RAS

*Kapitanskaya str., 2, Sevastopol, 299011, Russia*

**Abstract.** In this work there are the analysis results of the seasonal and interannual variability of the bioluminescence field and the sea surface temperature (SST) that was made according to the 6-year biophysical monitoring in the open sea near Sevastopol. The seasonal variability of the bioluminescence field in the upper 10-meter layer is 1.5 times higher than in the whole 60-meter layer, and their interannual shape coincides with the one of the seasonal variability of average monthly SST. The dynamics of the interannual variability of the bioluminescence field in the upper 10-meter layer is mainly defined by the dynamics of the interannual variability in SST. This indicates the common patterns, which determine the processes of bioluminescence and SST fields development.

**Key words:** bioluminescence field, sea surface temperature, luminous dinoflagellates.

### Введение.

Одним из биофизических методов исследований в морской гидробиологии является метод регистрации поля биолюминесценции непрерывно движущимся в морской среде прибором, поскольку организмы, способные отвечать световой вспышкой на внешнее раздражение, представляют собой существенную по численности часть пелагического сообщества и закономерности их распространения те же, что определяют общую его структуру. Метод выгодно отличается от других быстродействием и малой инерционностью, т. е. является экспресс-методом для изучения распределения жизни в океане. Созданные в ИнБЮМ приборные комплексы (в т.ч. ПК «Сальпа-М») предназначались для определения интенсивности биолюминесценции в режиме вертикального зондирования водной толщи (до глубин 200 м) в дрейфе судна с одновременным измерением температуры, электропроводности и гидростатического давления.

В результате обработки сигналов датчиков получали профили (при многократных зондированиях – двумерные матрицы) измеряемых параметров: интенсивности биолюминесценции, температуры, солёности с усредненными показателями по глубине через каждый метр в диапазоне глубин 0-60 м. Традиционно такие зондирования сопровождаются отбором планктонных проб. Поскольку доминирующая роль в свечении черноморских вод принадлежит динофитовым водорослям, из всего разнообразия которых 38 видов в Черном море являются светящимися, особое внимание было привлечено к ним. Отбор фитопланктонных проб производился с приповерхностного горизонта и горизонта максимальной биолюминесценции.

В работе использован массив спутниковых измерений температуры поверхности моря (ТПМ) с двух спутников Aqua & Terra в районе исследований. По выборке этих данных рассчитывались среднемесячные значения ТПМ, по которым оценивались сезонная изменчивость (СКОсез) для отдельных лет и межгодовая – (СКОмеж) для отдельных месяцев и их усредненные значения.

Задачей исследований было – на основании данных 6-ти летнего мониторинга, ежемесячно проводимого на станции в двух мильном удалении от берега в районе Севастополя, изучить сезонную и межгодовую изменчивость поля биолюминесценции в различных диапазонах глубин в сопоставлении с таковыми среднемесячных величин температуры поверхности моря.

**Связь поля биолюминесценции с параметрами планктонного сообщества.**

В ходе ежемесячных исследований у берегов Севастополя показана тесная связь между интенсивностью биолюминесценции и численностью, а также биомассой динофитовых водорослей, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции, при этом максимальные его величины зарегистрированы между интенсивностью биолюминесценции и биомассой светящихся видов в приповерхностном слое:  $R_{\text{БлхВсвет}} = [0.87 \div 1.00]$  [1, 2]. Получена прогностическая модель для расчета биолюминесцентного потенциала по биомассе светящихся водорослей, и наоборот [2].

В то же время в [3] показано соответствие пространственной изменчивости поля биолюминесценции в северо-западной части Черного моря и количественных характеристик зоопланктона, в составе которого рассматривался только кормовой зоопланктон и ноктилюка, но исключались важнейшие черноморские биолюминесцентные – гребневика *Pleurobrachia pileus* и *Mnemiopsis leidyi*. Совпадение варибельности параметров и выявленная связь между биомассой зоопланктона и параметрами поля биолюминесценции была опосредована, по всей видимости, фитопланктонной фракцией, поскольку ход кривых биомасс зоо- и фитопланктона на этих станциях практически совпадал. Кроме того, отмечено несоответствие максимумов развития поля биолюминесценции и концентрации гребневика *M. leidyi*, из чего сделан вывод, что ввиду высокой локомоторной активности и способности избегать движущиеся объекты [4], а также особенностей конструкции прибора “Сальпа”, гребневика могли не попадать в темновую камеру прибора, в которой происходит высвечивание организмов.

Применение метода батифотометрических зондирований в гидробиологических исследованиях является одним из наиболее эффективных при изучении мелкомасштабных неоднородностей распределения живых организмов в толще морской среды. Проводились эксперименты в Эгейском и Черном морях, в которых наряду с непрерывными батифотометрическими зондированиями осуществлялись батометрические сборы проб фитопланктона с дискретностью по глубине 2 и 5 м [5]. Сравнение диапазонов изменчивости коэффициентов вариации соответствующих параметров (интенсивности биолюминесценции и численности динофитовых водорослей) по Джонсону и Вельху свидетельствовало об их сходстве. По коэффициентам вариации можно оценить среднюю относительную амплитуду флуктуаций в профилях биолюминесценции и концентраций динофлагеллят в чередующихся тонких слоях их скоплений и разрежений, которые оказались вполне сопоставимыми величинами. Таким образом, тонкоструктурные неоднородности, регистрируемые нашим прибором по профилям биолюминесценции, достаточно точно отражают картину неравномерности вертикального распределения морских организмов.

Таким образом, на любом уровне масштабности структура поля биолюминесценции достаточно точно отражает структуру биологического сообщества и, прежде всего, светящихся динофитовых водорослей. Поскольку обработка планктонных проб является трудоемкой задачей и предусматривает наличие высококвалифицированных специалистов, для детального рассмотрения структуры сообщества вполне подходит биофизический метод исследований. Так, изучая структуру поля биолюминесценции в толще морской среды и ее изменчивость под влиянием тех или иных внешних факторов, можно вполне делать заключения об изменениях в структуре фитопланктонного сообщества.

Особенности сезонной динамики светящихся динофлагеллят, которые определили сезонную изменчивость поля биолюминесценции за период 2009-2012 гг. подробно рассмотрены в [6]. Показано, что аномалии (отклонения от среднего уровня) температурного режима поверхности моря приводят к перестройкам в таксономической структуре сообщества фитопланктона и модификации сезонной изменчивости вертикальной структуры поля биолюминесценции.

**Показатели сезонной и межгодовой изменчивости поля биолюминесценции в слоях различной протяженности в сопоставлении с изменчивостью ТПМ.**

Как было показано ранее за период с 1986 г. до 2002 г. акватория у берегов Севастополя характеризуется относительно невысокой сезонной изменчивостью ТПМ ( $СКО_{\text{сез}} < 6,5^\circ\text{C}$ ) [7]. Рассчитанная величина сезонной изменчивости ТПМ за 6-летний период в среднем совпадает с верхней границей указанного диапазона ( $СКО_{\text{сез}} = 6,5^\circ\text{C}$ ). Однако для 2010 и 2012 гг. их значения составили –  $СКО_{\text{сез}} = 6,8^\circ\text{C}$ ;  $7,1^\circ\text{C}$ . По данным [7] такими показателями характеризуется район северо-западной части Черного моря, с максимальными величинами у берегов Одессы ( $СКО_{\text{сез}} > 7,5^\circ\text{C}$ ). Такой размах колебаний среднеквадратических отклонений ТПМ за период исследований свидетельствует о наличии аномалий, которые возникли в зимний сезон 2012 г. из-за резкого похолодания, при котором температура морской поверхности в отдельные дни опускалась до  $6,7^\circ\text{C}$ , а летом 2010 г. средняя ТПМ достигла рекордной величины, достигшей  $27,6^\circ\text{C}$  в августе.

Зарегистрированные аномалии температурного режима поверхности моря сказались на развитии биоты и генерируемом ею поле биолюминесценции, показатели изменчивости которого ( $V_{\text{сез}}$ ) в эти годы также выросли на 30-40% (рис.1). Это произошло не только в верхних слоях, но и во всей толще 0-60 м. Коэффициент вариации, характеризующий сезонную изменчивость в слое 0-60 м за 6-летний период, в среднем составил 0,79, а в слое 0-10 м – 1,13. При исключении годов с аномалиями ТПМ их величины составляли:  $V_{\text{сез}(0-60)} = 0,65$  и  $V_{\text{сез}(0-10)} = 1,00$ . Из рисунка 1 видно, что за весь период исследований сезонная изменчивость поля биолюминесценции в верхнем 10-метровом слое существенно выше, чем во всем слое 0-60 м. Однако в обоих случаях их межгодовая динамика определяется динамикой изменчивости ТПМ.

В годовом цикле развитие динофлагеллят в приповерхностном слое совпадает с сезонным ходом развития поля биолюминесценции, максимумы которых приходятся на весенний и осенний периоды [6]. Однако при

рассмотрении всего слоя 0-60 м поле биоллюминесценции не имеет полугодовую периодичность развития, что связано с заглублиением максимума биоллюминесценции и, соответственно, слоев динофлагеллят, в летний период под термоклин. Тогда во всей толще 0-60 м проявляются дополнительно летние максимумы. В то же время, в верхних слоях 0-5 и 0-10 м обнаруживается такая же динамика, как и в приповерхностном слое. Усредненная кривая сезонного хода интенсивности биоллюминесценции за 6 лет также имеет полугодовую периодичность, максимумы которой приходятся на май и ноябрь (см. рис. 2).

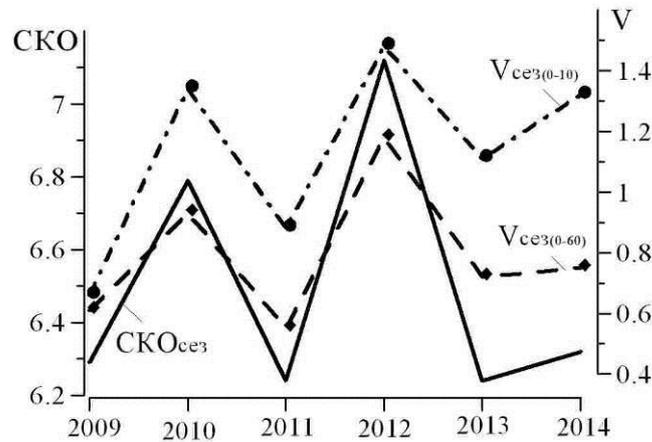


Рисунок 1 – Межгодовой ход сезонной изменчивости температуры поверхности моря (SKOces) и поля биоллюминесценции в верхнем 10-метровом слое ( $V_{ces(0-10)}$ ) и во всем слое 0-60 м ( $V_{ces(0-60)}$ )

На рисунке 2 показана также межгодовая изменчивость поля биоллюминесценции в слое 0-10 м, рассчитанная для каждого месяца ( $V_{меж(0-10)}$ ). Два из четырех пиков на этой кривой, приходящихся на апрель и октябрь, предшествуют весеннему и осеннему пикам развития поля биоллюминесценции [6]. Следовательно, эти пики обусловлены вариабельностью условий, необходимых для начала весеннего и осеннего пиков развития водорослей.

Анализ уровня межгодовой изменчивости ТПМ для различных месяцев выявил наличие четырех максимумов: в феврале, мае, августе и октябре (см. рис. 2). Если максимумы в мае и октябре свойственны данному району и выделились в предшествующий 17-летний период, то в феврале и августе – не являются характерными для данного района Черного моря [7]. Следовательно они связаны с аномалиями температурного режима в период исследований. Такие же максимумы (в феврале и августе) обнаруживаются в сезонном ходе межгодовой изменчивости поля биоллюминесценции ( $V_{меж(0-10)}$ ), которые также определяются особенностями ТПМ в период проведения мониторинга.

Таким образом, динамика межгодовой изменчивости поля биоллюминесценции в верхнем 10-метровом слое во многом определяется динамикой изменчивости ТПМ, что свидетельствует об единых механизмах, обуславливающих процессы развития поля биоллюминесценции и поля температуры морской поверхности.

Сравнение межгодовой и сезонной изменчивости ТПМ показало, что сезонная изменчивость превышает межгодовую в 6,3 раза. По результатам работы [7] этот район характеризуется меньшими величинами такого отношения:  $SKO_{ces}/SKO_{меж} = 5,6$ . Полученное нами завышенное значения этого отношения обусловлено аномальными величинами  $SKO_{ces}$  в 2010 и 2012 гг.

Отношение сезонной изменчивости к межгодовой поля биоллюминесценции по 6-летнему периоду усреднений для верхних 5-ти и 10-ти метровых слоев, соответственно, составляют: 1,13 и 1,28; а для всего слоя 0-60 м:  $SKO_{ces}/SKO_{меж} = 0,94$ . Таким образом, в верхних слоях сезонная изменчивость несколько превышает межгодовую, а в целом слое — наоборот.

Сравнение сезонной изменчивости биомассы светящихся динофлагеллят в приповерхностном слое с таковой интенсивности биоллюминесценции в приповерхностном и верхнем 5-метровом показало их совпадение:  $V_{ces(0-1)} = 1,04$  – для биомассы светящихся динофлагеллят;  $V_{ces(0-1)} = 1,09$ ;  $V_{ces(0-5)} = 1,03$  – для средней биоллюминесценции в соответствующих слоях.

Таким образом, применение биофизического метода измерения поля биоллюминесценции, которое генерируется скоплениями светящихся организмов, вполне оправдан для изучения структуры и динамики развития сообщества этих организмов в морской среде.

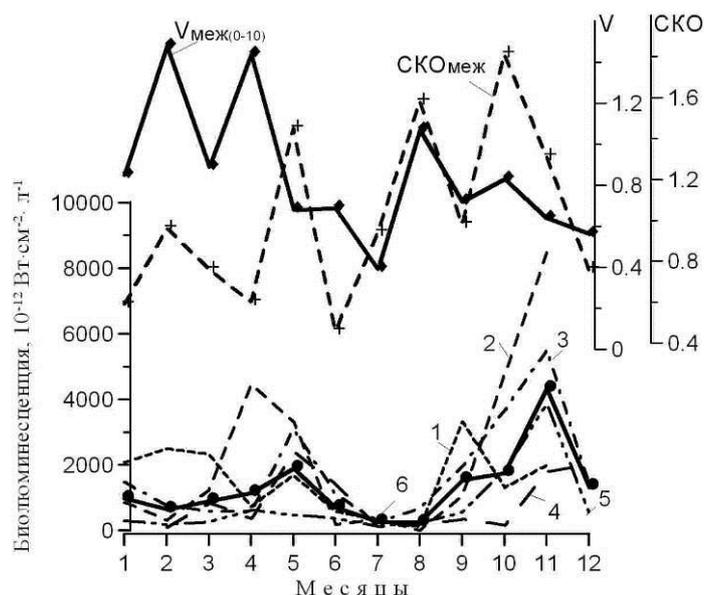


Рисунок 2 – Внутригодовой ход межгодовой изменчивости поля биолуминесценции в верхнем 10-метровом слое ( $V_{\text{Меж}(0-10)}$ ) и температуры поверхности ( $\text{СКО}_{\text{Меж}}$ ) и сезонная динамика развития поля биолуминесценции в верхнем 10-метровом слое в разные года: 2009 г. – (1); 2010 г. – (2); 2011 г. – (3); 2013 г. – (4); 2014 г. – (5) и усредненная кривая за 6-летний период исследований (6)

### Выводы.

Годовая динамика развития поля биолуминесценции в верхнем 10-метровом слое совпадает с динамикой развития биомассы светящихся динофлагеллят в приповерхностном слое и, в среднем, имеет полугодовую периодичность с максимумами в мае и ноябре.

Сравнение сезонной изменчивости биомассы светящихся динофлагеллят в приповерхностном слое с таковой интенсивности биолуминесценции как в приповерхностном, так и верхнем 5-метровом слое показало их совпадение, что подтверждает возможность использования метода батифотометрических зондирований для изучения структуры и динамики сообщества.

Сезонная изменчивость поля биолуминесценции в верхнем 10-метровом слое выше, чем во всем слое 0–60 м в 1,5 раза, и их межгодовой ход совпадает с межгодовым ходом сезонной изменчивости температуры морской поверхности. Максимумы сезонной изменчивости этих параметров приходятся на 2010 и 2012 гг., в которые были зарегистрированы значительные температурные аномалии поверхности моря.

Динамика межгодовой изменчивости поля биолуминесценции в верхнем 10-метровом слое в основном определяется динамикой изменчивости ТПМ, что свидетельствует о единых механизмах, обуславливающих процессы развития поля биолуминесценции и поля температуры морской поверхности.

Соотношения сезонной изменчивости поля биолуминесценции к межгодовой, рассчитанные по 6-летнему периоду исследований показывает, что в верхних слоях 0–5 и 0–10 м сезонная изменчивость превышает межгодовую, а во всем слое 0–60 м оказывается выше межгодовая изменчивость.

### Список литературы / References:

1. Серикова И.М., Брянцева Ю.В., Василенко В.И. Особенности сезонной динамики структуры поля биолуминесценции и ее сопряженность с параметрами динофитовых водорослей. *Мор. экол. журн.*, 2013, т. 12, № 3, с. 66-72. [Serikova I.M., Bryantseva Yu.V., Vasilenko V.I. Seasonal dynamics of the bioluminescence field's structure and its connection with the dinoflagellates parameters. *Morskoy Ekologicheskiy Zhurnal*, 2013, vol. 12, no. 4, pp. 87-95. (In Russ.)]
2. Брянцева Ю.В., Серикова И.М., Суслин В.В. Межгодовая изменчивость разнообразия динофлагеллят и поля биолуминесценции у берегов Севастополя. *Экосистемы, их оптимизация и охрана*, 2014, вып. 11, с. 158-164. [Bryantseva Yu.V., Serikova I.M., Suslin V.V. Interannual variability of the dinoflagellates diversity and bioluminescence fields off the coast of Sevastopol. *Ekosistemy, ih optimizatciay i ohrana*, 2014, vol. 11, pp. 158-164. (In Russ.)]
3. Серикова И.М., Токарев Ю.Н., Загородняя Ю.А., Василенко В.И. Тонкая структура поля биолуминесценции и ее обусловленность характеристиками планктона и гидрологической структурой вод в Черном море. *Морской экологический журнал*, 2010, т. 9, № 4, с. 86-101. [Serikova I.M., Tokarev Yu.N., Zagorodnyaya Yu.A., Vasilenko V.I. Thin structure of the bioluminescence field and its conditionality by descriptions of plankton and hydrological structure of waters in the Black Sea. *Morskoy Ekologicheskiy Zhurnal*, 2010, vol. 9, no. 4, pp. 86-101. (In Russ.)]
4. Востоков С.В., Арашкевич Е.Г., Дриц А.В. [и др.] Эколого-физиологические характеристики гребневика *Beroe ovata* в прибрежной зоне Черного моря: численность, биомасса, размерная характеристика популяции,

поведение, питание и метаболизм. *Океанология*, 2001, т. 41, № 1, с. 109-115. [Vostokov S.V., Yaroshevich E.G., Drits A.V. [et al.] Ecological and physiological characteristics of the ctenophore *Beroe ovata* in the coastal zone of the Black Sea: abundance, biomass, the dimensional characteristics of the population, behavior, nutrition and metabolism. *Okeanologiya*, 2001, vol. 41, no. 1, pp. 109-115. (In Russ.)]

5. Tokarev Yu.N., Serikova I.M., Narusevich T.F., Evstigneev P.V. Fine structure of the bioluminescence field as an index of the dinophyta algae layer structure in the Aegean Sea. *A gateway to sustainable development: Proc. of the 30-th Intern. Conf. Pacem in Maribus. A Year after Johannesburg. Ocean Governance and Sustainable Development: Ocean and Coasts – a Glimpse in the Future (Kiev, Ukraine, Oct. 27-30, 2003)*, Sevastopol, 2004, pp. 742-747.

6. Серикова И.М., Брянцева Ю.В., Токарев Ю.Н., Станичный С.А., Суслин В.В., Василенко В.И. Отклик фитопланктона в прибрежье Севастополя на климатические особенности 2009-2012 гг. *Гидробиологический журнал*, 2014, т. 51, № 5, с. 40-51. [Serikova I.M., Bryantseva Yu.V., Tokarev Yu.N., Stanichny S.A., Suslin V.V., Vasilenko V.I. The response of the phytoplankton in the coastal zone of Sevastopol on climate anomalies 2009-2012. *Gidrobiologicheskii Zhurnal*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 40-51. (In Russ.)]

7. Артамонов Ю.В., Бабий М.В., Скрипалева Е.А. Региональные особенности межгодовой изменчивости поля температуры на поверхности моря. *Системы контроля окружающей среды*, 2005, с. 240-242. [Artamonov Yu.V., Babiy M.V., Skripaleva E.A. The Regional features of the interannual variability of the temperature field on the ocean surface. *Sistema kontrolya okruzhayushchey sredy*, 2005, pp. 240-242. (In Russ.)]

### ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ САМОАССОЦИИ НА КИНЕТИКУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕПАРАТА В БИОСИСТЕМЕ

Филиппова Т.А.<sup>1</sup>, Евстигнеев М.П.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, РФ

e-mail: deryabina1993@yandex.ru

<sup>2</sup> ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, РФ

**Аннотация.** В данной работе была проанализирована классическая фармакокинетическая однокамерная модель со всасыванием. Определено, каким образом влияют на динамику распределения и выведения лекарственного препарата из организма процессы самоассоциации действующего вещества. Результатом работы является однокамерная модель со всасыванием, учитывающая самоассоциацию лекарственного препарата. Данная модель применена для описания кинетики распределения доxorубина в организме. Было установлено, что при учете самоассоциации наблюдается уменьшение концентрации препарата в организме. Данный факт обусловлен низкой способностью комплексов всасываться в организм в виду их значительных размеров и устойчивости.

**Ключевые слова:** однокамерная модель со всасыванием; самоассоциация; доxorубин.

### EFFECT OF SELF- ASSOCIATION ON THE KINETICS OF THE DRUG DISTRIBUTION IN BIOLOGICAL SYSTEMS

Filippova T.A.<sup>1</sup>, Evstigneev M.P.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Sevastopol State University

Universitetskaya Str., 33, Sevastopol, 299053, Russia

e-mail: deryabina1993@yandex.ru

<sup>2</sup> Belgorod State University,

Pobedy Str., 85, Belgorod, 308015, Russia

**Abstract.** Simple pharmacokinetic compartment model with absorption was analyzed in this paper. Impact of the processes of self- association of the active ingredient on the dynamics of the distribution and elimination of the drug was determined. The result of this research is one-compartment model with suction, which takes into account the process of self-association of the drug. This model is applied to describe the kinetics of doxorubicin distribution in the body. Decrease in concentration of the drug in the body considering self- association was found. This fact was caused by the low ability of the complexes to be absorbed in the body due to their significant size and stability.

**Key words:** one-compartment model; self- association; Doxorubicin.

#### Введение.

Ввиду стремительного развития фармакологии, одним из актуальных вопросов медицины является правильный расчет дозы лекарственного препарата. Большое разнообразие лекарственных препаратов (ЛП) и средств привело к развитию множества фармакокинетических моделей, учитывающих кинетику распределения ЛП в организме и выведения его из организма [1-3]. Несмотря на свое большое распространение, данные модели обладают рядом недостатков. Одним из них является то, что данные модели не учитывают природу лекарственного препарата [1], а значит, не учитывают возможные процессы самоассоциации. Так как фармакокинетические модели и модели комплексообразования оперируют параметрами одной природы: