



Получено: 11.11.2024 г. | Принято: 21.11.2024 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.1.8.15>

Научная статья

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ И РАЗМЕРЫ ЧАСТИЦ НИОСОМАЛЬНЫХ ДИСПЕРСИЙ НА ОСНОВЕ ПЭГ-12 ДИМЕТИКОН

Е.И.Дискаева¹, к.ф.-м.н., доц., зав. каф., ORCID: 0000-0002-6095-7010 / e_diskaeva@mail.ru

О.В.Вечер¹, к.ф.-м.н., доц., ORCID: 0000-0002-6743-874X

И.А.Базиков¹, д.м.н., проф., зав. каф., ORCID: 0000-0001-9207-6552

Е.Н.Дискаева², к.ф.-м.н., доц., ORCID: 0000-0002-5185-6023

К.С.Эльбекьян¹, д.б.н., проф., зав. каф., ORCID: 0000-0003-2403-8663

Е.С.Лопатина¹, асс., ORCID: 0009-0006-9963-6739

Аннотация. В данной работе методом динамического рассеяния света исследован процесс изменения ζ-потенциала и размеров частиц ниосомальных дисперсий различных концентраций при варьировании температуры. Выявлены изменения среднего диаметра ниосом и индекса полидисперсности. Наиболее существенное влияние температуры на рассматриваемые параметры наблюдалось в интервале 303–313 К. Экспериментальные данные свидетельствовали об увеличении дзета-потенциала с повышением температуры. На основании проведенного анализа подтверждена возможность повышения устойчивости ниосомальных дисперсий с помощью температурного воздействия.

Ключевые слова: кремнийорганические ниосомы, дзета-потенциал, индекс полидисперсности, стабильность

Для цитирования: Е.И. Дискаева, О.В. Вечер, И.А. Базиков, Е.Н. Дискаева, К.С. Эльбекьян, Е.С. Лопатина. Оценка влияния температурного воздействия на стабильность и размеры частиц ниосомальных дисперсий на основе ПЭГ-12 диметикон. НАНОИНДУСТРИЯ. 2025. Т. 18. № 1. С. 8–15. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.1.8.15>.

Received: 11.11.2024 | Accepted: 21.11.2024 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.1.8.15>

Original paper

EVALUATION OF THE TEMPERATURE INFLUENCE EFFECT ON STABILITY AND PARTICLE SIZE OF NIOSOMAL DISPERSIONS BASED ON PEG-12 DIMETHICONE

E.I.Diskaeva¹, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Docent, ORCID: 0000-0002-6095-7010 / e_diskaeva@mail.ru

O.V.Vecher¹, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Docent, ORCID: 0000-0002-6743-874X

I.A.Bazikov¹, Doct. of Sci. (Medicine), Prof., Head of Department, ORCID: 0000-0001-9207-6552

E.N.Diskaeva², Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Docent, ORCID: 0000-0002-5185-6023

K.S.Elbekyan¹, Doct. of Sci. (Biology), Prof., Head of Department, ORCID: 0000-0003-2403-8663

E.S.Lopatina¹, Assistant, ORCID: 0009-0006-9963-6739

¹ Ставропольский государственный медицинский университет, г. Ставрополь, Россия / Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia

² Филиал РТУ МИРЭА, г. Ставрополь, Россия / Branch of RTU MIREA, Stavropol, Russia



Abstract. In this paper, the dynamics of changes in the ζ potential and particle sizes of niosomal dispersions of various concentrations under temperature variation is studied by the method of dynamic light scattering. The average diameter changes of the niosomes and the polydispersity index were revealed. The most significant influence of temperature on the considered parameters was observed in the interval 303–313 K. The experimental data indicated an increase in the zeta potential with increasing temperature. Based on the analysis performed, possibility of increasing the niosomal dispersions stability by means of temperature influence was confirmed.

Keywords: organosilicon niosomes, zeta potential, polydispersity index, stability

For citation: E.I. Diskaeva, O.V. Vecher, I.A. Bazikov, E.N. Diskaeva, K.S. Elbekyan, E.S. Lopatina. Evaluation of the temperature influence effect on stability and particle size of niosomal dispersions based on PEG-12 dimethicone. NANOINDUSTRY. 2025. Vol. 18. No. 1. PP. 8-15. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2025.18.1.8.15>.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы огромное внимание уделяется целенаправленной доставке лекарств с контролируемой скоростью высвобождения. Применение нанотехнологий в медицине обеспечило разработку многофункциональных наночастиц, которые, могут быть заполнены различными медикаментами. Наноконтейнеры представляют собой отличный подход к доставке лекарственных средств с многообещающими функциями, такими как защита лекарств от деградации и расщепления, контролируемое высвобождение. Наиболее широкое применение среди них находят как липосомы и их различные комбинации, так и ниосомы [1–4].

Ниосомы представляют собой везикулы, как правило, нанометрового диапазона, состоящие из замкнутой двухслойной структуры, представленной неионогенными поверхностно-активными веществами в водной системе.

Ниосомы являются очень перспективными носителями для доставки многочисленных фармакологических и диагностических средств. Благодаря своей неионной природе они обладают превосходной биосовместимостью и низкой токсичностью. Уникальная структура ниосом позволяет разрабатывать новые эффективные системы доставки лекарств с возможностью загрузки как гидрофильных, так и липофильных препаратов. Гидрофильные и липофильные лекарственные средства удерживаются в водном ядре и мембранном биослое ниосомы соответственно.

Множество исследований посвящено поиску целесообразного состава компонентов при синтезе ниосом для обеспечения оптимальных физико-химических свойств [5–8].

Кремнийорганические ниосомы состоят из ПЭГ-12 Диметикона, обладающего

INTRODUCTION

Targeted delivery of controlled-release rate drugs has received tremendous attention in recent years. Application of nanotechnology in medicine has led to development of multifunctional nanoparticles that can be filled with different drugs. Nanocontainers represent an excellent approach to drug delivery with promising functions such as protection of drugs from degradation and cleavage, and controlled release. The most widely used among them are both liposomes and their various combinations and niosomes [1–4].

Niosomes are vesicles, typically in the nanometre range, consisting of a closed bilayer structure represented by non-ionogenic surfactants in an aqueous system.

Niosomes are very promising carriers to deliver the numerous pharmacological and diagnostic agents. Due to their non-ionic nature, they have excellent biocompatibility and low toxicity. The unique structure of niosomes allows to develop new efficient drug delivery systems with possibility of loading both hydrophilic and lipophilic drugs. Hydrophilic and lipophilic drugs are retained in the aqueous core and membrane bilayer of the niosome respectively.

Many studies have been devoted to finding the appropriate composition of components in the synthesis of niosomes to ensure optimal physicochemical properties [5–8].

Organosilicon niosomes are composed of PEG-12 Dimethicone, which has amphiphilic properties allowing orientation in dispersion with the water-soluble part (polyethylene glycol) to water and the fat-soluble part (dimethicone) to lipids. A thin elastic shell allows them to move through the intercellular spaces that constitute the lipid matrix.

The advantages that can be obtained by using siloxane surfactants for vesicle formation and



амфифильными свойствами, позволяющими ориентироваться в дисперсии водорастворимой частью (полиэтиленгликолем) в воду и жирорастворимой частью (диметиконом) – в липиды. Тонкая эластичная оболочка позволяет им передвигаться по межклеточным промежуткам, представляющим собой липидный матрикс.

Преимущества, которые можно получить при использовании силоксановых поверхностно-активных веществ для образования везикул и загрузки лекарственных веществ, подтверждают те факты, что, во-первых, наличие ковалентной связи Si-O в гидрофобной части молекулы полидиметилсилоксановой основы эмульгатора, которая обладает большой эластичностью и реакционной способностью, позволяет направленно доставлять широкий спектр БАВ и целенаправленно их выпускать из везикулы [9]. Во-вторых, силоксановые поверхностно-активные вещества "самопроизвольно" образуют везикулы при контакте с водой, и поэтому они исключают использование энергоемких процессов, таких как обработка ультразвуком, которые необходимы для поверхностно-активных веществ на основе несилосана [10].

Однако ниосомальные дисперсии, как и любые другие коллоидные системы, являются термодинамически неустойчивыми, поэтому несомненную практическую значимость на стадиях разработки, получения и хранения ниосомальных препаратов представляет оценка их стабильности. Определение физико-химических характеристик ниосом имеет важное значение и для клинического применения.

Одним из основных параметров, определяющих стабильность дисперсных систем и являющихся индикатором поверхностного заряда частиц и мерой электростатического взаимодействия между частицами является ζ -потенциал. Этот параметр также позволяет предсказывать взаимодействие ниосом с клетками.

Другим важнейшим фактором трансдермальной доставки лекарственных средств является размер частиц. Так, чем меньше диаметр ниосом, тем выше эффективность их проникновения в глубокие слои кожи и очаги поражения. Размерные факторы оказывают существенное влияние на многие физико-химические характеристики наноконтейнеров, поэтому определение размеров и дисперсности ниосомальных дисперсий на стадии подготовки позволит не только оптимизировать

drug loading are supported by the facts that, firstly, presence of a covalent Si-O bond in the hydrophobic part of the polydimethylsiloxane emulsifier backbone molecule, which has great elasticity and reactivity, allows targeting delivery of a wide range of SAS and their targeted release from the vesicle [9]. Secondly, siloxane surfactants "spontaneously" form vesicles upon contact with water, and therefore they eliminate the use of energy-intensive processes such as ultrasonic treatment that are required for non-siloxane-based surfactants [10].

However, niosomal dispersions, as well as any other colloidal systems, are thermodynamically unstable; therefore, assessment of their stability is of undoubted practical importance at the stages of development, production and storage of niosomal preparations. Determination of physicochemical characteristics of niosomes is also important for clinical application.

One of the main parameters determining stability of disperse systems and being an indicator of the surface charge of particles and a measure of electrostatic interaction between particles is the ζ potential. This parameter also allows predicting interaction of niosomes with cells.

Another important factor in transdermal drug delivery is particle size. Thus, the smaller the diameter of niosomes, the higher their penetration efficiency into deep skin layers and lesions. Size factors have a significant impact on many physicochemical characteristics of nanocontainers, so determining the size and dispersibility of niosomal dispersions at preparation stage will not only optimise the manufacturing modes, but will also make it possible to predict the final characteristics of the resulting drugs.

The aim of the presented work was to study the effect of temperature change on stability and particle sizes of niosomal dispersions of different concentrations, as well as to analyse possible ways to improve their stability.

RESEARCH METHODS

Organosilicon niosomes consisting of a double layer of non-ionic emulsifier dimethicone copolyols, which are esters of polyethylene glycol and polydimethylsiloxane backbone, were chosen as the object of study [11].

Niosomes were prepared at room temperature by vigorous mechanical shaking on a shaker for 5 minutes of PEG-12 Dimethicone emulsion followed by ultrasonic treatment. Sounding mode: frequency 20 kHz, power 200 W, exposure:



режимы изготовления, но и даст возможность спрогнозировать конечные характеристики получаемых препаратов.

Цель представленной работы состояла в исследовании влияния изменения температуры на устойчивость и размеры частиц ниосомальных дисперсий различных концентраций, а также анализе возможных путей повышения их стабильности.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования были выбраны ниосомы кремнийорганической природы, состоящие из двойного слоя неионогенного эмульгатора диметикон кополиолов, представляющих собой эфиры полиэтиленгликоля и полидиметилсилоксановой основы [11].

Ниосомы изготавливались при комнатной температуре при интенсивном механическом встряхивании на шейкере в течение 5 мин эмульсии ПЭГ-12 диметикона с последующей ультразвуковой обработкой. Режим озвучивания: частота – 20 кГц, мощность – 200 Вт, экспозиция – 10–15 мин. Затем, для стабилизации концентрации водородных ионов (pH) до 6,6–7,0 и формирования однородной структуры, проводилось эмульгирование на АПВ гомогенизаторе (APV Lab Series Homogenizers-1000). Для разведения ниосомальных дисперсий до заданных концентраций использовали бидистиллированную воду.

Измерения дзета-потенциала проводились с использованием системы Photocor Compact-Z (Россия) под углом 20°, длина волны лазера – 636,6 нм, мощность – 25 мВт. Данные измерений дзета-потенциала представляли в виде среднего значения \pm SD (мВ).

Для изучения влияния температуры на величину дзета-потенциала ниосомальных дисперсий, исследуемые образцы нагревали на водяной бане (UT – 4304E) в диапазоне температур 303–333 К.

Для определения размеров ниосом использовали метод динамического рассеяния света (ДРС). Данный метод предполагает расчет гидродинамического диаметра d_h сфер, которые бы двигались в жидкости с такой же скоростью, что и исследуемые частицы. Измерения d_h проводили с использованием системы Photocor Compact-Z (Россия) по оценке корреляционной функции флуктуаций интенсивности лазерного излучения с длиной волны 636,6 нм, рассеянного на ниосомах под углом 20°. Ширину распределения частиц по размерам характеризовали по индексу полидисперсности (PDI).

10–15 minutes. Then, emulsification was carried out on an APV homogeniser (APV Lab Series Homogenizers-1000) to stabilise hydrogen ion concentration (pH) to 6.6–7.0 and to form a homogeneous structure. Bidistilled water was used to dilute niosomal dispersions to specified concentrations.

Zeta potential measurements were performed using a Photocor Compact-Z system (Russia) at an angle of 20°, laser wavelength 636.6 nm, power 25 mW. The data of zeta potential measurements were presented as the mean value \pm SD (mV).

To study the effect of temperature on the zeta potential value of niosomal dispersions, the studied samples were heated on a water bath (UT – 4304E) in the temperature range of 303–333 K.

The dynamic light scattering (DLS) method was used to determine the size of niosomes. This method involves calculation of the hydrodynamic diameter d_h of spheres that would move in the liquid with the same velocity as the particles under study. The d_h measurements were carried out using the Photocor Compact-Z system (Russia) to estimate correlation function of fluctuations in intensity fluctuations of laser radiation with a wavelength of 636.6 nm scattered on niosomes at an angle of 20°. The width of particle size distribution was characterised by the polydispersity index (PDI).

The polydispersity index was calculated according to the formula:

$$PDI = \frac{\sigma^2}{d_h^2}, \quad (1)$$

where d_h is the hydrodynamic diameter of niosomes, nm; σ is the mean square deviation of the hydrodynamic diameter, nm.

Low values of the polydispersity index indicate a narrow particle size distribution, i.e., reflecting homogeneity of dispersion, while a high PDI suggests a broad size distribution, i.e., a greater degree of heterogeneity [12].

RESULTS AND DISCUSSION

It is known that surface charge of niosomes plays an important role in their behaviour. In general, charged niosomes are more resistant to aggregation than uncharged vesicles [13]. High surface charges enable niosomes to suspend well in water, which may be useful for their storage and administration. The effect of concentration on zeta potential can provide additional information for product formulation to maximise stability [14].

The zeta potential value of PEG-12 Dimethicone based niosomal dispersions was determined five



Индекс полидисперсности рассчитывали по формуле:

$$PDI = \frac{\sigma^2}{d_h^2}, \quad (1)$$

где d_h – гидродинамический диаметр ниосом, нм; σ – среднее квадратическое отклонение гидродинамического диаметра, нм.

Низкие значения индекса полидисперсности указывают на узкое распределение частиц по размерам, то есть отражают однородность дисперсии, в то время как высокий PDI предполагает широкое распределение по размерам, то есть большую степень гетерогенности [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что поверхностный заряд ниосом играет важную роль в их поведении. В целом заряженные ниосомы более устойчивы к агрегации, чем незаряженные везикулы [13]. Высокие поверхностные заряды дают возможность ниосомам хорошо суспендироваться в воде, что может быть полезно для их хранения и введения. Влияние концентрации на дзета-потенциал может давать дополнительную информацию для составления рецептуры продукта с целью обеспечения максимальной стабильности [14].

Определение величины дзета-потенциала ниосомальных дисперсий на основе ПЭГ-12 Диметикон проводилось пятикратно, затем вычислялось среднее значение. Величины ζ -потенциала ниосомальных дисперсий исследуемых концентраций, измеренных непосредственно после разведения при комнатной температуре приведены в табл.1.

Поскольку ниосомальные дисперсии с концентрациями 0,005% и 1,0% изначально обладают низким дзета-потенциалом, то есть являются неустойчивыми, они были выведены из эксперимента.

С целью оценки влияния температуры на устойчивость ниосомальных дисперсий, оставшиеся образцы были подвергнуты нагреванию в интервале температур 303–333 К. Полученные результаты представлены в табл.2.

Графические зависимости величины дзета-потенциала ниосомальных дисперсий различных концентраций от температуры представлены на рис.1.

Анализ графических зависимостей показывает увеличение абсолютной величины дзета-потенциала для всех исследуемых образцов ниосомальных дисперсий, что вероятно связано с возрастанием интенсивности

Таблица 1. Значения дзета-потенциала для ниосомальных дисперсий, измеренные при температуре $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$

№ п/п	C, %	ζ , мВ mV
1	0,005	15,5±0,44
2	0,05	31,65±0,16
3	0,1	32,45±0,32
4	0,5	30,72±0,86
5	1,0	21,76±0,29

times and then the mean value was calculated. The values of ζ potential of niosomal dispersions of studied concentrations measured directly after dilution at room temperature are given in Table 1.

Since the niosomal dispersions with concentrations of 0.005% and 1.0% inherently have a low zeta potential, i.e., they are unstable, they were eliminated from the experiment.

In order to evaluate the effect of temperature on stability of niosomal dispersions, the remaining samples were subjected to heating in the temperature range of 303–333 K. The obtained results are presented in Table 2.

Graphical dependences of the zeta potential value of niosomal dispersions of different concentrations on temperature are presented in Fig.1.

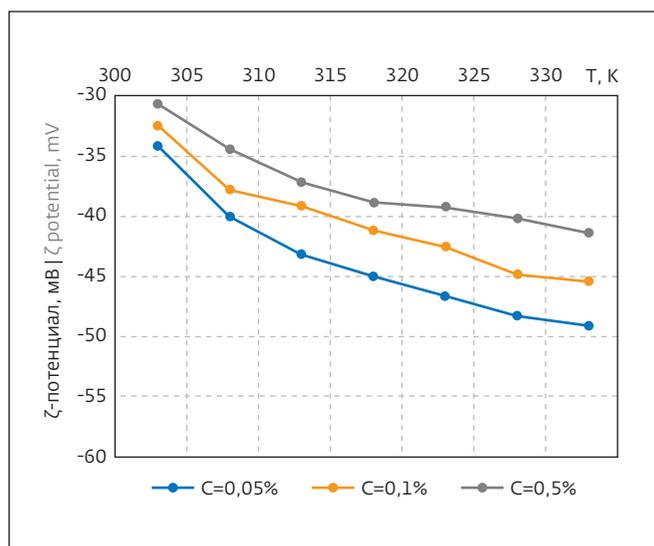


Рис.1. Зависимость ζ -потенциала ниосомальных дисперсий от температуры

Fig.1. Temperature dependence of ζ potential of niosomal dispersions



теплового движения противоионов и увеличением толщины двойного электрического слоя. Наибольшее увеличение наблюдается для более разбавленной ниосомальной дисперсии.

При повышении температуры в интервале 303–313 К наблюдается значительное возрастание дзета-потенциала, что может быть связано с резким переходом части противоионов из адсорбционного слоя в диффузный. Дальнейшее увеличение температуры способствует увеличению конкуренции диффузии противоионов с десорбцией потенциалопределяющих ионов, что приводит уже к незначительному повышению величины дзета-потенциала.

Полученные результаты также указывают на то, что дзета-потенциал при малых концентрациях проявляет более выраженную зависимость от температуры. Кроме того, результаты демонстрируют, что величина дзета-потенциала уменьшается с увеличением концентрации раствора. Это согласуется с результатами других исследований [15, 16]. Можно отметить, что дзета-потенциалы систем с более низкой концентрацией в меньшей степени подвержены влиянию изменения температуры, чем их аналоги с более высокой концентрацией.

Результаты определения величины среднего размера частиц ниосомальных дисперсий и значения индексов полидисперсности представлены в табл.3.

Изменения значений среднего гидродинамического диаметра ниосом с увеличением температуры носят немонотонный характер. Наибольшие изменения отмечены в интервале температур 303–313 К. Значения индекса полидисперсности имеют тенденцию к уменьшению с повышением температуры, что может свидетельствовать о некотором повышении гомогенности системы.

Таким образом, варьирование температуры позволяет получать более устойчивые формы ниосом заданных концентраций, имеющих более гомогенную структуру.

ВЫВОДЫ

Методом динамического рассеяния света определены размеры частиц ниосомальной дисперсии и величины ζ -потенциалов. Во всех случаях дзета-потенциал является отрицательной величиной. Исследована зависимость дзета-потенциала от температуры и концентрации частиц дисперсной фазы ниосомальных

Таблица 2. Значения ζ -потенциала ниосомальных дисперсий при варьировании температуры

Table 2. Values of ζ -potential of niosomal dispersions at varying temperatures

T, K	C=0,05%	C=0,1%	C=0,5%
303	34,21±0,23	32,45±0,32	30,72±0,86
308	40,03±0,87	37,79±0,29	34,45±1,06
313	43,22±0,26	39,14±0,44	37,15±0,88
318	45,02±0,96	41,18±0,65	38,88±0,54
323	46,62±0,32	42,57±0,81	39,24±0,19
328	48,29±0,73	44,82±0,92	40,16±0,73
333	49,12±0,96	45,46±1,52	41,38±0,36

The analysis of graphical dependences shows an increase in the absolute value of zeta-potential for all studied samples of niosomal dispersions, which is probably related to increase intensity of thermal motion of counterions and growing the electric double layer thickness. The greatest growth is observed for more dilute niosomal dispersion.

When the temperature increases in the range 303–313 K, a significant increase in zeta potential is observed, which may be associated with a sharp transition of part of counterions from adsorption layer to the diffuse layer. Further increase of temperature favours increasing of competition of diffusion of counterions with desorption of potential-determining ions, which leads already to insignificant growth of zeta-potential value.

The results also indicate that the zeta potential at low concentrations exhibits a more pronounced temperature dependence. In addition, the results demonstrate that the zeta potential value decreases with increasing solution concentration. This is in agreement with the results of other studies [15, 16]. It can be noted that the zeta potentials of systems with lower concentration are less affected by temperature change than their counterparts with higher concentration.

The results of determining the mean particle size value of niosomal dispersions and the values of polydispersity indices are presented in Table 3.

Changes in the values of the mean hydrodynamic diameter of niosomes with increasing



дисперсий. Доказано, что структурные свойства и характеристики ниосом могут быть улучшены за счет варьирования температуры. Полученные результаты могут быть полезны как на этапе создания ниосомальных форм лекарственных препаратов, так и в процессе их хранения и введения.

ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Growi R., Balaji P., Vijayalakshmi P., Preethy M.G., Karthik R.P.** Niosomes a vesicular drug delivery system / International Journal of Current Research. 2013. Vol. 5. Iss. 08. PP. 2239–2244.
2. **Naggar V.F., Elgamal S.S., Allam A.N.** Formulation and Physicochemical Characterization // Journal of American Science. 2012. Vol. 8(9). PP. 417–4285.
3. **Тараховский Ю.С.** Интеллектуальные липидные наноконтейнеры в адресной доставке лекарственных веществ. М.: Изд-во ЛКИ, 2011.
4. **Дубатовка Е.И.** и др. Влияние липосомальной формы стрептокиназы на образование Д-димеров / Докл. НАН Беларуси. 2016. Т. 60. № 6. С. 54–58.
5. **Chaghi R., Ménorval L.C.de, Charnay C., Zajac J.** Competitive interactions between components in surfactant-cosurfactant-additive systems // Journal of Colloid and Interface Science. 2010. Vol. 344. No. 2. PP. 402–409. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.12.064>
6. **Kumavat S. et al.** A review on niosomes: potential vascular drug delivery system, Journal of drug delivery and therapeutics. 2021. Vol. 11(5). PP. 208–212.
7. **Khoe S., Yaghoobian M.** Niosomes: a novel approach in modern drug delivery system. 2017. PP. 213–214.
8. **Khoe S., Yaghoobian M.** Niosomes: A novel approach in modern drug delivery systems. In Nanostructures for drug delivery // Elsevier. 2017. PP. 207–237.

Таблица 3. Средний гидродинамический диаметр d_h и индекс полидисперсности (PDI) ниосом при варьировании температуры

Table 3. Mean hydrodynamic diameter d_h and polydispersity index (PDI) of niosomes at varying temperatures

№ п/п	С, %	Т, К	d_h , нм nm	PDI
1	0,05	303	125,3±11,4	0,19
2		308	105,8±8,2	0,17
3		313	94,2±6,1	0,15
4		318	87,6±5,4	0,15
5		323	80,1±4,9	0,12
6		328	74,2±7,2	0,09
7		333	72,8±5,2	0,05
8	0,1	303	130,6±4,8	0,27
9		308	118,2±4,2	0,19
10		313	112,7±3,9	0,17
11		318	102,4±5,1	0,16
12		323	98,8±4,8	0,14
13		328	90,1±4,0	0,13
14		333	84,9±3,9	0,07
15	0,5	303	138,7±9,3	0,29
16		308	112,1±7,9	0,19
17		313	104,5±6,4	0,17
18		318	96,2±4,1	0,17
19		323	95,9±6,2	0,16
20		328	90,5±7,3	0,14
21		333	88,4±6,9	0,08



9. **Базиков И.А., Омелянчук П.А.** Система доставки биологически активных веществ с помощью ниосом. Патент на изобретение RU 2320323. Бюл. 2008. № 9.
10. **Hill R.M., Snow S.A.** Silicone vesicles and entrapment. US5364633. 1994. V. 15. No. 11.
11. **Базиков И.А.** Способ трансдермального переноса активных субстанций с использованием ниосом на основе ПЭГ-12 диметикона. Патент на изобретение RUS 2539396. 2014.
12. **Бабаджанянц Л.К., Войтылов А.В., Войтылов В.В., Трусов А.А.** Анализ полидисперсности макромолекулярных и нанодисперсных систем электрооптическими методами // Высокомолекулярные соединения. 2010. Серия С.Т. 52. № 5. С. 1-12.
13. **Bayindir Z.S., Yuksel N.** Characterization of niosomes prepared with various nonionic surfactants for paclitaxel oral delivery // Journal of Pharmaceutical Sciences. 2010. Vol. 99. No. 4. PP. 2049-2060. <https://doi.org/10.1002/jps.21944>
14. **Bayindir Z.S., Yuksel N.** Characterization of niosomes prepared with various nonionic surfactants for paclitaxel oral delivery. 2009. September, 24. <https://doi.org/10.1002/jps.21944>
15. **Venditti R., Xuan X., Li D.** Experimental characterization of the temperature dependence of zeta potential and its effect on electroosmotic flow velocity in microchannels // Microfluidics and Nanofluidics, 2006.
16. **Завалюева А.С., Карпов С.И., Дубовицкая А.Н., Холявка М.Г., Селеменев В.Ф.** Структурообразование неионогенного блоксополимера pluronic p 123 при варьировании температуры. 2024. Т. 86. № 4. С. 1-36.

temperature are nonmonotonic. The largest changes are observed in the temperature range 303–313 K. The values of the polydispersity index tend to decrease with increasing temperature, which may indicate some growth of system homogeneity.

Thus, varying temperature allows to obtain more stable forms of niosomes of given concentrations having a more homogeneous structure.

CONCLUSIONS

The sizes of niosomal dispersion particles and the values of ζ potentials were determined by the dynamic light scattering method. In all cases the zeta-potential is a negative value. The dependence of zeta-potential on temperature and concentration of dispersed phase particles of niosomal dispersions has been studied. It is proved that the structural properties and characteristics of niosomes can be improved by varying temperature. The obtained results can be useful both at the stage of preparing of niosomal forms of drugs and in the process of their storage and administration.

PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

АСЕПТИКА

Генераторы тумана для визуализации воздушных потоков



KitAseptica FOG GEN®



KitAseptica FOG GEN® C

127474, г. Москва, Дмитровское ш., д. 60 Тел.: (495) 585-88-15, (495) 274-01-02 E-mail: asep5858815@gmail.com www.aseptica.biz