

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 3. С. 63–67.  
*Forests of Russia and economy in them. 2021. № 3. P. 63–67.*

Научная статья  
УДК 544-971  
doi: 10.51318/FRET.2021.68.16.008

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ БЕТУЛИНА МЕТОДОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Анастасия Александровна Захарова<sup>1</sup>, Геннадий Иванович Мальцев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия  
<sup>1</sup>anastasiya\_zaharova\_97@list.ru  
<sup>2</sup>mgi@elem.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0750-0070>

**Аннотация.** Исследование стабильности бетулина методом определения электрокинетического потенциала. На сегодняшний день бетулин интересен в области медицины, косметики и пищевой промышленности, ведь он обладает огромным спектром биологических действий. Из него можно получить производные, которые, в свою очередь, имеют определенное хорошо выраженное действие и используются для производства различных медикаментов. И чтобы интенсифицировать процесс очистки и фильтрования бетулина для экономии времени и затрат на энергию, необходимо узнать его заряд коллоидной частицы и стабильность в водном растворе. Для этого было проведено определение электрокинетического потенциала. Найден  $\zeta$ -потенциал бетулина в водном растворе, который показал, что с увеличением концентрации водного раствора бетулина вероятность разрушения дисперсии и возможность образования хлопьев при добавлении коагулянта или флокулянта повышаются. Определен заряд поверхности коллоидной частицы бетулина.

**Ключевые слова:** бетулин, биологически активное вещество,  $\zeta$ -потенциал, электрокинетический потенциал.

Scientific article

## STUDY OF BETULIN STABILITY BY ELECTROKINETIC POTENTIAL DETERMINATION

Anastasiya Alexandrovna Zakharova<sup>1</sup>, Gennady Ivanovich Maltsev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia  
<sup>1</sup>anastasiya\_zaharova\_97@list.ru  
<sup>2</sup>mgi@elem.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0750-0070>

**Abstract.** Investigation of the stability of betulin by the method of determining the electrokinetic potential. Today betulin is interesting in the field of medicine, cosmetics and food industry, because it has a huge range of biological actions. From it, you can get derivatives, which in turn have a certain well-defined effect and are used for the production of various medicines. In order to intensify the process of cleaning and filtering betulin to save time and energy costs, we need to know its colloidal particle charge and stability in an aqueous solution. To do this, we conducted a method for determining the electrokinetic potential. we determined the zeta potential

of betulin in an aqueous solution, which showed that with an increase in the concentration of betulin in water, the probability of destruction of the dispersion and the possibility of flocculation when adding a coagulant or flogulant increases. We determined the surface charge of a colloidal betulin particle.

**Keywords:** Betulin, biologically active substance,  $\zeta$ -potential, electrokinetic potential.

### Введение

Бетулин производят из верхней части коры различных видов березы.

Бетулин (бетулинол, березовая камфора, лупендиол, 3 $\beta$ -гидрокси-20(29)-лупаен-28-ол) – кристаллическое органическое вещество, белое жироподобное вещество, заполняющее полости клеток пробковой ткани на стволах берёзы и придающее ей белую окраску [1].

Бетулин – это пентациклический тритерпеновый спирт  $C_{30}H_{50}O_2$  лупанового ряда (рис. 1). Его содержание во внешней коре белой березы *Betula pendula* L. составляет от 10 до 35 % и зависит от условий произрастания березы, ее возраста, времени сбора коры и т. д.

Чистый бетулин представляет собой порошок белого цвета, без запаха, со слабым вязущим вкусом. Бетулин устойчив к дей-

ствию кислорода и солнечного света, нетоксичен, безопасен для человека, нерастворим в воде [2].

Цель данной работы – определение знака заряда коллоидной частицы, а также вычисление величины потенциала, возникающего на границе скольжения. Для этого было проведено определение электрокинетического потенциала.

Электрокинетический потенциал ( $\zeta$ -потенциал) сильно зависит от природы поверхности контактирующих фаз. В этом отношении можно выделить два крайних положения: активные и инертные поверхности [3]. Активные поверхности имеют полиэлектролиты – полимеры, содержащие ионогенные группы, степень диссоциации которых и определяет заряд поверхности. К веществам, имеющим поверхности с ионогенными группами, можно отнести и многие неор-

ганические оксиды. На таких поверхностях  $\zeta$ -потенциал может достигать высоких значений (100 мВ и более). Инертные поверхности лишены ионогенных групп, заряд на них возникает в результате специфической адсорбции [4].

### Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель исследования заключалась в изучении стабильности коллоидной системы бетулина. Для этого было необходимо провести определение электрокинетического потенциала раствора.

Для приготовления электрохимических ключей взвешивается 0,75 г агар-агара и вливается 25 мл воды. Затем раствор нагревают, не доводя до кипения. При перемешивании агар-агар растворяется, после чего засыпается 2,5 г хлористого калия, смесь тщательно перемешивается и заливается в пластиковые ключи на 2/3 объема. Перед работой сверху в ключи заливается раствор следующего состава: на 500 мл – 15 г  $CuSO_4$  (безводного), 50 мл  $H_2SO_4$  ( $\rho = 1,83$  г/см<sup>3</sup>), 50 мл спирта этилового.

В состав установки для определения электрического потенциала входят: источник постоянного тока, ячейка для определения  $\zeta$ -потенциала, наполненная анализируемым раствором, цифровой вольтметр, микроскоп (со встроенной камерой

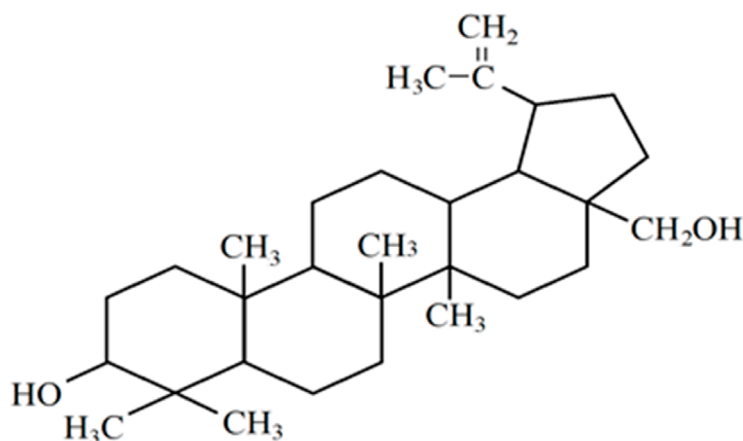


Рис. 1. Структурная формула бетулина  
Fig. 1. The structural formula of betulin

и передачей изображения на монитор компьютера). Для проведения анализа необходимо сделать 3 пробы раствора 0,01, 0,05 и 0,1 моль, состоящего из дистиллированной воды и бетулина. Так как бетулин нерастворим в воде, для начала раствор в колбе перемешивают при помощи ультразвукового перемешивающего устройства в течение 10–15 с.

Для проведения эксперимента собирается установка, изображенная на рис. 2.

Для начала работы на установке настраивают микроскоп, сфокусировав изображения на коллоидных частицах. Измеряют высоту кварцевой кюветы и устанавливают фокус на расстоянии 1/5 высоты от дна или

крышки кюветы с целью уменьшения влияния пристенных и струйных эффектов в потоке. В ячейку заливают исследуемую коллоидную систему и устанавливают электрохимические ключи. Важным фактором является отсутствие пузырей воздуха в пространстве между ключами и раствором. В ключи заливают электролит и опускают медные провода для подачи напряжения от источника постоянного тока (10–50 В). Платиновые контакты соединяют с вольтметром. После подачи напряжения и включения камеры микроскопа движения частиц в электрическом поле записываются в программе Ulead VideoStudio 7 SEVCD в отдельные видеофайлы. Изображения обрабатываются.

Расчет  $\zeta$ -потенциала производится по формуле Смолуховского:

$$\xi = \mu S_k n \frac{Le}{\varepsilon_0 \varepsilon_1 u \tau},$$

где  $\xi$  –  $\zeta$ -потенциал частиц, мВ;

$\mu$  – вязкость среды при температуре проведения опыта, Па;

$S_k$  – длина 1-й клетки;

$n$  – количество клеток;

$Le$  – расстояние между электродами сравнения ( $60 \cdot 10^{-3}$  м);

$\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;

$\varepsilon_1$  – диэлектрическая проницаемость среды при данной температуре;

$u$  – напряжение, В;

$\tau$  – время движения частицы, с.

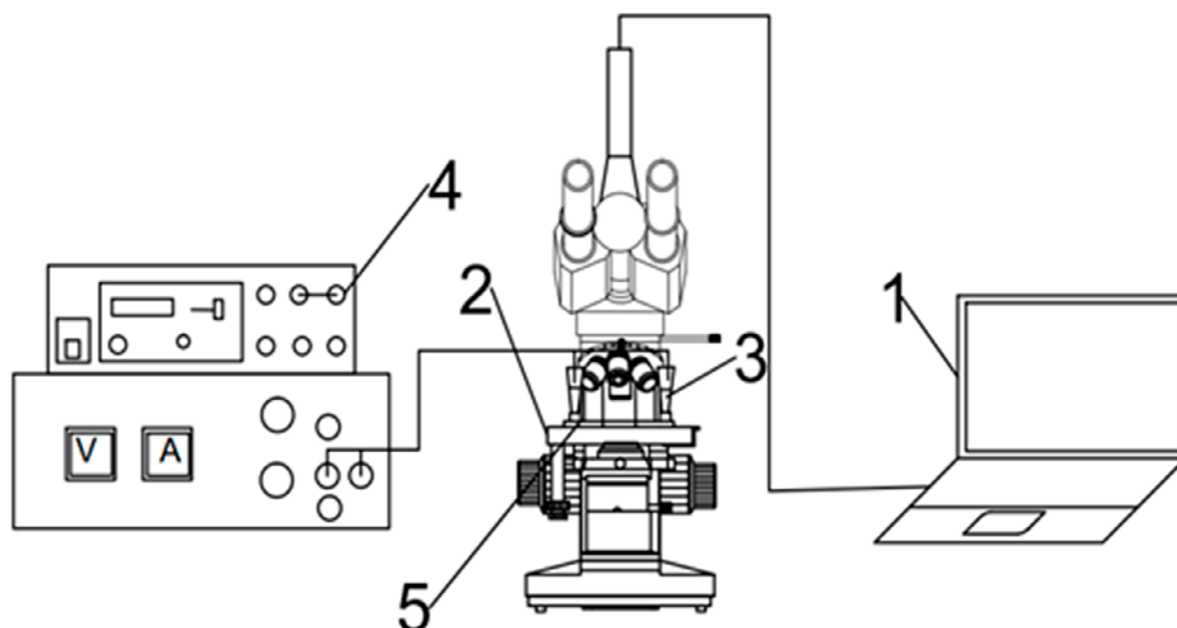


Рис. 2. Устройство для определения  $\zeta$ -потенциала:

1 – компьютер, 2 – микроскоп Optics Digital Lab, 3 – ключи, 4 – цифровой вольтметр, 5 – электрофоретическая ячейка

Fig. 2. Device for determining the  $\zeta$ -potential:

1 – computer, 2 – optics Digital Lab microscope, 3 – keys, 4 – digital voltmeter, 5 – electrophoretic cell

### Результаты и их обсуждение

По формуле вычисляем  $\zeta$ -потенциал бетулина в суспензии при различных концентрациях:

1) 0,01 моль/л:

$$\xi = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{60 \cdot 10^{-3}}{8,82 \cdot 10^{-12} \cdot 80 \cdot 24 \cdot 0,0624} = 113,6 \text{ мВ};$$

2) 0,05 моль/л:

$$\xi = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{60 \cdot 10^{-3}}{8,82 \cdot 10^{-12} \cdot 80 \cdot 53 \cdot 0,0628} = 76,6 \text{ мВ};$$

3) 0,1 моль/л:

$$\xi = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{60 \cdot 10^{-3}}{8,82 \cdot 10^{-12} \cdot 80 \cdot 226 \cdot 0,0634} = 23,7 \text{ мВ}.$$

На рис. 3 приведен график определения значения  $\zeta$ -потенциала бетулина в суспензии при различных концентрациях.

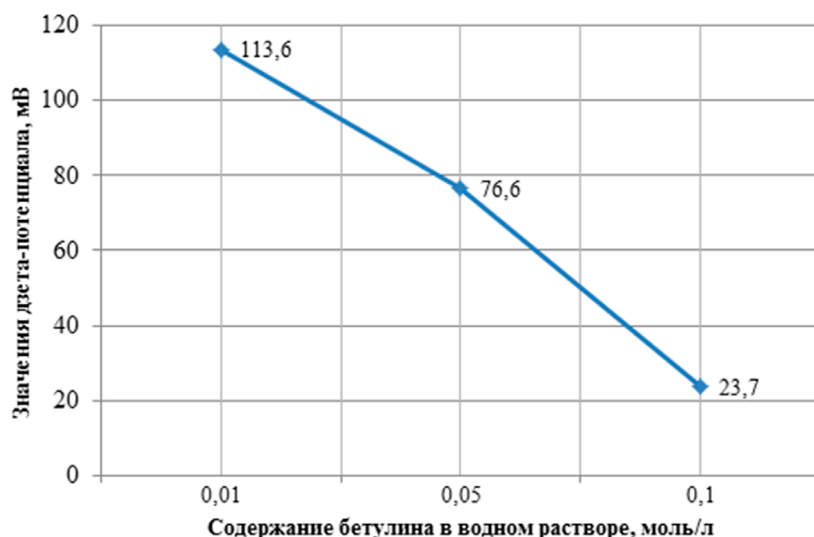


Рис. 3. График определения значения  $\zeta$ -потенциала бетулина в суспензии при различных концентрациях

Fig. 3. Graph of the determination of the value of the  $\zeta$ -potential of betulin in the suspension at different concentration

Далее приведена таблица, где по значению  $\zeta$ -потенциала можно определить стабильное поведение коллоида.

$\zeta$ -потенциал является важным показателем стабильности коллоидных дисперсий. По графику видно, что при маленьком содержании бетулина в водном растворе стабильность его сохраняется и может сопротивляться агрегации, а с увеличением концентрации значение электрокинетического потенциала водного раствора бетулина уменьшается. Данные значения нам доказывают, что дисперсия может разрушиться и могут образоваться хлопья, и раствор может легко поддаться коагуляции или флокуляции.

Также по полученным видео движения частиц бетулина на компьютере было замечено, что они двигаются в сторону положительного заряда, это доказало нам, что заряд коллоидной частицы бетулина отрицательный.

### Стабильность поведения коллоида в зависимости от электрокинетического потенциала The stability of the colloid behavior depends on the electrokinetic potential

Значение электрокинетического потенциала, мВ The value of the electrokinetic potential, mV	Стабильность поведения коллоида Stability of colloid behavior
От 0 до $\pm 5$	Быстрая коагуляция или флокуляция Fast coagulation or flocculation
От $\pm 10$ до $\pm 30$	Начавшаяся нестабильность The instability that has begun
От $\pm 30$ до $\pm 40$	Умеренная стабильность Moderate stability
От $\pm 40$ до $\pm 60$	Хорошая стабильность Good stability
$> 61$	Отличная стабильность Excellent stability

**Выводы**

1. В ходе работы было замечено, что частицы бетулина отрицательно заряжены.

2. При снижении электрокинетического потенциала частиц уменьшается фактор электро-

статической устойчивости. Критической величиной, при которой электростатический фактор перестает действовать, является 30 мВ. При достижении этой величины бетулин может легко коагулировать.

3. Выявили, что стабильность коллоидной дисперсии бетулина уменьшается при большом содержании бетулина в суспензии, это позволит применять коагулянты в дальнейших исследованиях.

**Список источников**

1. Кислицын А. Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение // Химия древесины. М. : Химия, 1994. 361 с.
2. Толстикова Г. А., Флехтер О. Б., Шульц Э. Э. Бетулин и его производные. Химия и биологическая активность // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 1–30.
3. Кагиров А. Г. Коллоидная химия : метод. указ. Томск : изд. ХХХ, 2017. 80 с.
4. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М. : Химия, 1988. 464 с.

**References**

1. Kislitsyn A. N. Extractive substances of birch bark: isolation, composition, properties, application // Chemistry of wood. M. : Chemistry, 1994. 361 p.
2. Tolstikov G. A., Flechter O. B., Schultz E. E. Betulin and its derivatives. Chemistry and biological activity // Chemistry in the interests of sustainable development. 2005. No. 13. P. 1–30.
3. Kagirov A. G. Colloidal chemistry : methodological guidelines. Tomsk : Publishing house XXX, 2017. 80 p.
4. Frolov Yu. G. Course of colloid chemistry. Surface phenomena and dispersed systems. M. : Khimiya, 1988. 464 p.

**Информация об авторах**

*А. А. Захарова – магистр;*

*Г. И. Мальцев – доктор химических наук, профессор.*

**Information about the authors**

*A. A. Zakharova – master's degree student;*

*G. I. Maltsev – doctor of chemical sciences, professor.*

*Статья поступила в редакцию 24.06.2021; принята к публикации 23.08.2021.*

*The article was submitted 24.06.2021; accepted for publication 23.08.2021.*

**Рецензент:** Сафин Р. Р. – заведующий кафедрой «Архитектура и дизайн изделий из древесины», доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань.

**Reviewer:** Safin R. R. – Head of the Department «Architecture and design of wood products», Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan National Research Technological University, Kazan.