

**ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИАНОБАКТЕРИИ  
*SPIRULINA (ARTHROSPIRA) PLATENSIS***

На основе литературных данных дается общая характеристика микроводоросли *Spirulina (Arthrospira) platensis* (Nordstedt) Geitler (систематическое положение и биология). Приводятся образец паспорта штамма IBSS-32. Рассматриваются морфометрические характеристики каждого из 4-х штаммов данного вида из коллекции отдела биотехнологий и фиторесурсов ИнБЮМ НАН Украины.

*Spirulina platensis* – филаментная сине-зеленая прокариотическая микроводоросль (цианобактерия), интенсивно развивающаяся в богатых карбонатами и гидрокарбонатами тропических и субтропических водах. В систематике цианопрокариот существует два подхода. «Альгологический» основан на функциональном сходстве про- и эукариотических водорослей, как окислительных фототрофов, в связи с чем цианей всегда относили к группе низших растений. «Микробиологический» подход исходит из установленных в 60-х годах XX века четких различий между про- и эукариотными типами клеточной организации, что послужило толчком для создания новой филогенетической системы классификации, в основе которой лежит установление генетических, эволюционных связей между организмами. Этот подход сделал правомочным воссоединение цианопрокариот с бактериями и их классификацию по правилам Международного кодекса номенклатуры бактерий [9]. Согласно одной из современных систем классификации такого типа, таксономический статус *S. platensis* отражает следующая схема: царство Прокариоты (Procarota, Monera), домен эубактерий (Bacteria), отдел граммотрицательных бактерий (Gramicetes), класс окислительных фотосинтезирующих бактерий (Oxiphotobacteria), группа цианобактерий (Cyanobacteria), порядок Осцилляторiales (Oscillatoriales) [3, 13]. Термин «цианобактерии» стал широко распространенным в среде бактериологов, а затем и многих других специалистов (биохимиков, физиологов). В то же время ряд исследователей придерживается компромиссной точки зрения, обособляя цианобактерий от эубактерий и используя другую терминологию для сохранения этимологической дистанции между этими группами организмов. Согласно [6], синезеленые водоросли, подобно архебактериям, являются самостоятельной ветвью эволюции, которые следует выделить в самостоятельный доминион Archaeocyanobacteria. В настоящее время нет полной однозначности в вопросе систематики цианопрокариот, что вносит значительную номенклатурную путаницу. Не до конца разработаны принципы классификации Procarota, требует уточнения место прокариотических водорослей в системе Procarota с позиций новых достижений генетики и сравнительной молекулярной биологии. Отечественными альгологами отстаивается целесообразность причисления цианопрокариот к водорослям, рассмотрения (совместно с другими водорослями) в пределах науки альгология (фикология) и учета в процессе изучения фитопланктона, фитобентоса и фикоперифитона [5]. Кондратьевой Н. В. приводится следующая схема систематического положения цианопрокариот: надцарство Procarota, царство Protoprocarota, подцарство Procarophycobionta (Cyanobionta, Oxiphotobacteriae), отдел Cyanophyta (Cyanophycota, Cyanoprocarota) [5].

Не ставя перед собой задачу анализа научных доводов в пользу той или иной систем классификации, в данной работе мы будем придерживаться правил «Междуна-

родного ботанического кодекса» и применять по отношению к спирулине традиционную номенклатуру: царство Procaryota, отдел Cyanophyta, класс Cyanophyceae, порядок Oscillatoriales [5].

Исследуемый вид, принадлежащий ранее к роду *Arthrospira* (*A. platensis* (Nordst.) Gomont, 1892), после очередной ревизии Cyanophyceae был, наряду с *Arthrospira maxima*, некорректно отнесен к роду *Spirulina* [14, 16, 19]. В результате, род *Spirulina* объединил организмы, имеющие спиральную форму трихом (и в ряде случаев – близкие экологически), но значительно различающиеся по своим морфологическим, ультраструктурным и генетическим свойствам (например, *Spirulina platensis* и *Spirulina major*). Множество отличительных признаков – морфология трихом и способ их фрагментации, ультраструктура, молярная концентрация ГЦ-оснований в ДНК, последовательность 16 S-субъединиц в рРНК, ряд физиологических характеристик – свидетельствует о правомочности разделения родов *Arthrospira* и *Spirulina* [16, 19]. Несмотря на возвращение *S. platensis* родового статуса *Arthrospira* [9], в большинстве последних публикаций, посвященных культивированию и применению этого организма, по-прежнему традиционно используется родовое название *Spirulina* [10, 12, 15, 17, 19]. Синонимами видового названия являются *Arthrospira platensis* (Nordstedt) Gomont, *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geitler (1925), *Spirulina jenneri* var. *platensis* Nordstedt [16, 19]. Мы будем использовать традиционное наименование - *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis*.

*S. platensis*, как все прокариоты, имеют низкий уровень клеточной дифференциации (отсутствуют истинное ядро, хроматофоры, ядрышки, вакуоли, митохондрии, эндоплазматическая сеть и т.д.). Неветвящиеся спиралеобразные трихомы (нити, или филаменты) из цилиндрических клеток окружены слизистым чехлом и способны к скользящему и вращательному движению. При воздействии различных физических и химических факторов филаменты могут распрямляться [16, 19]. Клетки в трихомах общаются посредством цитоплазматических тяжей – микроплазмодесм. Половой процесс у цианопрокариот отсутствует. Размножается *S. platensis* при помощи гормогоний – короткоцепочных, способных к движению, участков нитей, образующихся путем фрагментации материнских трихомов по некретиям [16, 19]. В отличие от представителей порядков Nostocales и Zignematales, *S. platensis* не свойственно образование таких специализированных клеток, как акинеты и гетероцисты [3, 4, 20].

*S. platensis*, обильно развивается в соленых мелководных щелочных озерах Африки Америки, проявляя наибольшую толерантность среди всех групп фитопланктонных организмов (зеленых микроводорослей, диатомовых и других представителей Cyanophyta) в отношении высоких pH (~11,0) и солености [11, 16, 21]. В озерах с содержанием солей > 30 г/л *S. platensis* развивается, практически, как монокультура (жизнедеятельность других видов в таких условиях угнетается). *S. platensis* обнаруживали в водах с содержанием солей 85 – 270 г/л, но оптимальный рост наблюдался при 20 – 70 г/л [11]. Являясь термофильным организмом (оптимум – 35 – 37° С), *S. platensis*, тем не менее, может существовать в широком диапазоне дневных температур (незначительный рост отмечен даже при 18° С), и толерантна к низким ночным температурам (до 5° С) [16, 20].

Особенности химического состава (широкий спектр БАВ), наряду со способностью к быстрому росту на средах с высоким и концентрациями гидрокарбонатов (что препятствует контаминации другими видами), делают *S. platensis* перспективным биотехнологическим объектом [5, 8].

В коллекции Института биологии южных морей НАН Украины в настоящее время находится 4 штамма микроводоросли *S. platensis*: IBSS-30, IBSS-31, IBSS-32, IBSS-33, которые и рассматриваются в данной статье. В качестве образца приводится паспорт штамма IBSS-32.

Штаммы IBSS-31 IBSS-32 были промерены дважды с интервалом в 1,5 месяца, чтобы приблизительно оценить диапазон колебаний основных морфометрических ха-

рактистик (табл. 1). Остальные штаммы были исследованы: IBSS-30 - 29.03.06 г. и IBSS-33 - 31.03.06 (табл. 2.).

### Паспорт штамма микроводоросли IBSS – 32

<b>Научное наименование вида</b>	<i>Spirulina platensis</i> (Nordstedt) Geitler, 1925,
<b>Синоним:</b>	<i>Arthrospira platensis</i> (Nordstedt) Gomont, 1892, <i>Spirulina jeneri</i> var. <i>platensis</i> Nordstedt.
<b>Таксономия:</b>	Цианопхита; Цианопхyceae; Oscillatoriales; Oscillatoriaceae [5]
<b>Местонахождение:</b>	Севастополь, Украина
<b>Учреждение, где хранится</b>	Институт биологии южных морей НАН Украины
<b>Поступил:</b>	В 1996 году из г. Сочи, Россия (штамм из коллекции МГУ, Россия).

**Характеристика:** филаментная синезеленая прокариотическая микроводоросль (цианобактерия), интенсивно развивающаяся в богатых карбонатами и гидрокарбонатами тропических и субтропических водах. Вид планктонный, обладает самой высокой среди всех групп фитопланктонных организмов толерантностью к рН, солености и температуре, термофил. [11, 16]

**Морфологические характеристики:** клетки имеют низкий уровень клеточной дифференциации (отсутствуют истинное ядро, хроматофоры, ядрышки, вакуоли, митохондрии, эндоплазматическая сеть и т.д.). Трихомы прямые палочковидные, с закругленными концами, окружены слизистым чехлом и способны к поступательному скользющему и вращательному движениям [16, 19]. Клетки низкоцилиндрические, плотно примыкают друг к другу. Перегородки между клетками заметны.

**Фигура**, к которой приравнивается форма клетки – круговой цилиндр [2]. Форма трихомов – круговой цилиндр + 2 параболоида (концевые клетки).

**Формулы** для расчета объема и площади поверхности клетки:  $V = \pi / 4 * D^2 * H$ , где  $D$  – диаметр;  $H$  – высота.  $S = \pi * D * (H + D / 2)$ .

**Морфометрические параметры:** приведены в табл. 1.

**Индекс сферичности формы [1]:** Спустя 4 часа после посева он составлял в среднем  $0,813 \pm 0,015$ .

**Среда культивирования:** Заррука

**Область применения:** биотехнология, широко применяется как источник ряда биологически активных веществ, в косметической, медицинской и пищевой промышленности.

**Примечания:** При выращивании спиральные формы отсутствуют

**Библиография:** [2, 5, 11, 16, 19].

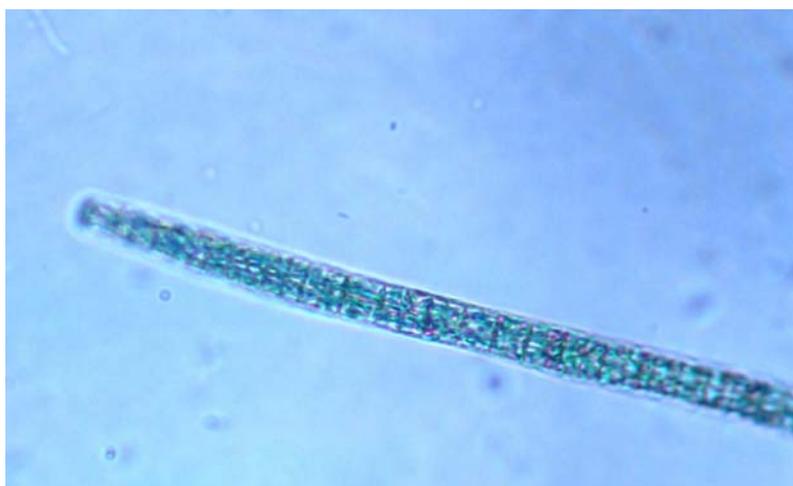


Фото штамма вида *Spirulina (Arthrospira) platensis* – IBSS-32. Автор: Брянцева Ю.В.  
Foto of the *Spirulina (Arthrospira) platensis* strain IBSS-32. Othor: Bryantseva Yu V.

Составил: н.с. отдела биотехнологий и фиторесурсов ИнБЮМ НАН Украины, к.б.н. Брянцева Ю.В.

Таблица 1. Морфометрические характеристики цианобактерии *S. platensis* штаммов IBSS-31 и IBSS-32  
Table 1. Morphometric features of the cyanobacteria *S. platensis* strains IBSS-31 and IBSS-32

Дата	I промер 21.02.06		II промер 14.04.06*	
	IBSS – 31	IBSS – 32	IBSS – 31	IBSS – 32
Поступил	В 1996 г. из Юг-НИРО (г. Керчь, Украина).	В 1996 г. из г. Сочи (коллекция МГУ, Россия)	В 1996 г. из ЮгНИРО (г. Керчь, Украина).	В 1996 г. из г. Сочи (коллекция МГУ, Россия)
Диаметр клетки	6,91 ± 0,33	6,66 ± 0,20	6,06 ± 0,16	6,49 ± 0,19
Высота клетки	4,16 ± 0,26	2,46 ± 0,16	3,67 ± 0,18	3,20 ± 0,22
Длина трихома	375,30 ± 54,06	422,00 ± 48,53	264,78 ± 30,63	317,65 ± 38,43
Объем клетки	105,44**	86,09 ± 7,10	107,06 ± 7,48	106,46 ± 9,54
Площадь поверхности клетки	125,39**	81,00 ± 6,00	128,29 ± 5,95	132,03 ± 7,04
Индекс сферичности	0,862**	0,768 ± 0,015	0,845 ± 0,006	0,813 ± 0,015

\* - Спустя 4 ч после пересева культуры.

\*\* - Рассчитаны по средним значениям диаметра и высоты клетки.

При сопоставлении двух штаммов водорослей в феврале 2006 г. Оказалось, что они статистически не различались почти по всем параметрам. Значимые отличия наблюдались в средней высоте клеток, что обусловило и разницу в индексе сферичности. Поскольку высота клеток у штамма IBSS-31 была в среднем в 2 раза выше, чем у штамма IBSS-32, то соответственно и выше был индекс сферичности (см. табл. 1.).

При повторном промере в апреле 2006 г. (после пересева) стали значимо различаться не только средние высоты клеток, но и их диаметры. У штамма IBSS-31 диаметр клеток в среднем был меньше, а высота и индекс сферичности больше, чем у штамма IBSS-32 (см. табл. 1.). У того и другого штаммов после пересевания наблюдалось статистическое снижение средней длины трихомов.

Индекс сферичности формы зависит от возраста культуры. У старых он, как правило выше, после пересева этот показатель снижается (клетки становятся менее округлыми). Происходит это в результате изменения высоты клетки (диаметр почти не меняется), чем он выше, тем выше индекс сферичности. Если клетка интенсивно делиться, то ее высота меньше, чем когда она растет. Таким образом, индекс сферичности будет определяться тем, какой процесс в данный момент преобладает.

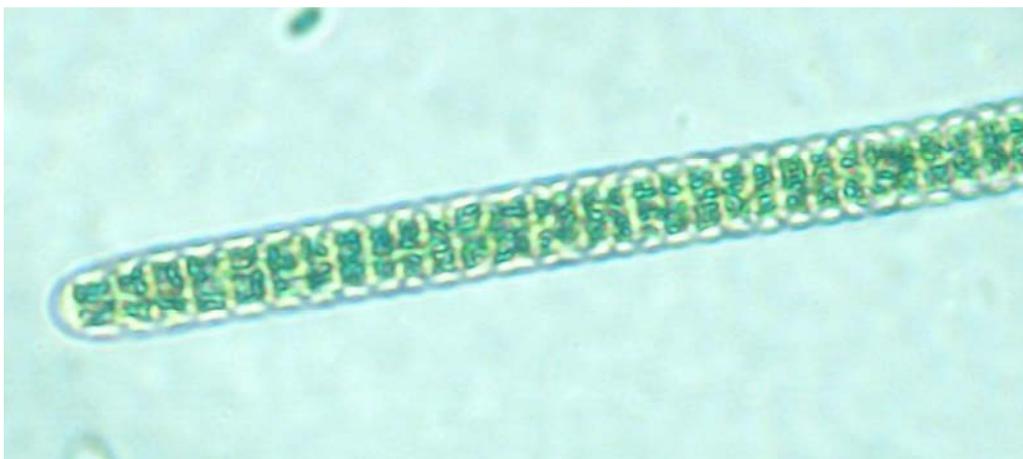


Фото штамма вида *Spirulina (Arthrospira) platensis* – IBSS-31. Автор: Харчук И. А. и Брянцева Ю. В.

Foto of the *Spirulina (Arthrospira) platensis* strain IBSS-31. Authors: Kharchuk I. A., Bryantseva Yu V.

Таблица 2. Морфометрические характеристики цианобактерии *S. platensis* штаммов IBSS-30 и IBSS-33

Table 2. Morphometric features of the cyanobacteria *S. platensis* strains IBSS-30 and IBSS-33

Штаммы	IBSS – 30 (31.03.06)	IBSS – 33 (29.03.06)
Получены	Реактивирована из таблеток (Индия)	В 2004 г. из Университета (Турция)
Диаметр клетки*	$6,69 \pm 0,16$	$6,66 \pm 0,41$
Высота клетки	$3,87 \pm 0,14$	$3,27 \pm 0,17$
Длина трихома	$422,8 \pm 48,9$	$567,03 \pm 76,23$
Объем клетки	$136,81 \pm 8,04$	$120,93 \pm 17,09$
Площадь поверхности клетки	$152,08 \pm 5,97$	$141,82 \pm 14,17$
Индекс сферичности	$0,842 \pm 0,006$	$0,819 \pm 0,008$

Два штамма, представленные выше, имели значимые различия в 3-х из 6-и параметров. У штамма IBSS-30 средняя высота клеток и, соответственно, индекс сферичности были выше, а длина трихомов ниже, чем у IBSS-33 (см. табл. 2.). Это может быть обусловлено, с одной стороны, разницей в возрасте этих культур, а с другой - преобладающими в данный момент процессами. Можно предположить, что штамм IBSS-30 на-

ходится на стадии роста, в то время как штамм IBSS-33 – на стадии преимущественного деления клеток.

Рассмотрим теперь изменчивость основных параметров у всех штаммов вместе, с учетом повторных промеров. Средний диаметр клетки изменялся незначимо (разница не достигала даже 1 микрона), за исключением штамма IBSS-31, у которого при повторном промере был минимальный диаметр клеток. Это связано с тем, что деление клеток происходит в плоскости, параллельной ширине трихома, таким образом, рост идет в сторону увеличения высоты клетки, которая колебалась – от 2,46 до 4,16 мкм. Первые два штамма (IBSS-30 и IBSS-31) имели значимо более высокие клетки, чем остальные (IBSS-32 и IBSS-33). Такая же разница наблюдалась и в индексе сферичности. В каждой указанной паре различия были незначимые. Диапазон колебаний составил: минимум – 0,768 (IBSS-32), максимум – 0,862 (IBSS-31) в феврале 2006 г.

Эти два последних параметра оказались наиболее чувствительными к изменениям характеристик клеток и могут быть рекомендованы в качестве индикаторов состояния штаммов вида *S. platensis*.

В большей степени изменялись значения объема и площади поверхности клеток, а также общая длина трихомов. Максимальной средней длиной трихомов отличался IBSS-33. Отличия остальных штаммов между собой в феврале были незначимые, а в апреле трихомы IBSS-31 и IBSS-32 стали значимо короче, чем IBSS-30 и IBSS-33. Самые крупные клетки (по объему и площади поверхности) отмечены у IBSS-30, минимальные – у IBSS-31 и IBSS-32. Однако штамм IBSS-33 значимо не отличалась от остальных штаммов из-за высокого разброса значений (наиболее широкий доверительный интервал).

**Заключение.** Таким образом, при характеристике того или иного штамма вида *S. platensis* наиболее информативными являются следующие параметры: индекс сферичности формы клеток, их средняя высота и средняя длина трихомов. При сопоставлении штаммов необходимо учитывать, как индивидуальные особенности каждого из них, так и возраст (состояние) культуры. Состояние определяется преобладанием в данный момент процессов роста или деления, которые и обуславливают значимые изменения морфометрических параметров клеток.

1. Брянцева Ю. В. Индекс формы одноклеточных водорослей как новый морфометрический критерий // Экология моря. – 2005. – Вып. 67. – С. 27 - 31
2. Брянцева Ю. В., Лях А. М., Сергеева А. В. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. - Севастополь, 2005. - 25 с. (Препр. / НАН Украины. Ин-БЮМ).
3. Гусев М. В., Минеева Л. А. Микробиология. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 376 с.
4. Кондратьева Н. В. Строение протопласта клеток Суанорхута (Обзор литературных данных) // Альгология. – 1994. – Т. 4, № 2. – С. 84–98.
5. Кондратьева Н. В. Флора водорослей континентальных водоемов Украины. Прокариотические водоросли (Procauorhycobionta). Вып. 1. Общая характеристика. Часть 2. Экология, значение, вопросы систематики /Кондратьева Н.В. – Киев, 2001. – 342 с.
6. Костяев В. Я. Синезеленые водоросли и эволюция эукариотных организмов. М.: наука, 2001. – 126 с.
7. Becker E. W. Development of *Spirulina* Research in Developing Country India // *Spirulina - Algae of Life*. – Bull. Ist. Oceanogr. – 1993. – Vol. NS, No. 12. – P. 141–155.
8. Belay A. Mass culture of *Spirulina* Outdoors – The Earthrise Farms Experience // *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology* / Ed. Vonshak A. – London: Taylor & Fransis, 1997. – P. 131–159.
9. Castenholz R. W. 1989 Subsection III, Order *Oscillatoriales*. In Stanley J. T., Bryant M. P., Pfenning W. and Holt J. G. (Eds.) *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Vol. 3, p. 1771, Baltimore: William and Wilkins.
10. Chen F., Zhang Y., Guo S. Growth and phycocyanin formation of *Spirulina platensis* in photoheterotrophic culture // *Biotechnol. Lett.* – 1996. – Vol. 18. – P. 603–608.

11. Ciferri O. *Spirulina*, the edible microorganism // Microbiol. Rev. – 1983. – Vol. 47, No. 4. – P. 551–578.
12. Danesi E.D.G., Rangel-Yagui C. de O., Carvalho J.C.M., Sato S. An investigation of effect of replacing nitrate by urea in the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis* // Biomass & Bioenergy –2002. – Vol. 23, No. 4. – P. 261–269.
13. Fujita Y., Murakami A., Aizawa K., Ohki K. Short-term and Long-term Adaptation of the Photosynthetic Apparatus: Homeostatic Properties of Thylakoids // Molecular biology of cyanobacteria. – Kluwer Academic Publishers, 1994. – P. 679–692.
14. Guglielmi G., Rippka R., Tandeau de Marsac N. Main Properties that Justify the Different Taxonomic Position of *Spirulina spp.* and *Arthrospira spp.* // *Spirulina – Algae of Life.* – Bull. Ist. Oceanogr. – 1993. – Vol. NS, No. 12. – P. 13–25.
15. Hirata T., Tanaki M., Ooike M., Tsunomura T., Sagakuchi M. Antioxidant activities of phycocyanobilin prepared from *Spirulina platensis* // J. Appl. Phycol. – 2000. – Vol. 12. – P. 435–439.
16. Richmond A. Microalgae of economic potential // Handbook of microalgal mass culture / Ed. Richmond A. – Boca Raton: CRC Press, 1986. – P. 199–244.
17. Shi X., Sha Z., Zhang X., Tan G. The study on nutritional physiology of *Spirulina platensis*, III: the uptake and usage of inorganic phosphate // Mar. Fish. Res. / Haiyang Shuichan Yanjiu. – 2000. – Vol. 21, No. 3. – P. 23–27.
18. Stanier R. Y. Division I. The Cyanobacteria // Bergey's Manual of Determination Bacteriology. – Baltimore: Williams & Wikins Co., 1974. – 22 p.
19. Tomasseli L. Morphology, Ultrastructure and Taxonomy of *Arthrospira (Spirulina) maxima* and *Arthrospira (Spirulina) platensis* // *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology* / Ed. Vonshak A. – London: Taylor & Francis, 1997. – P. 1–15.
20. Vonshak A. *Spirulina: Growth, Physiology and Biochemistry* // *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology.* – London: Taylor & Francis, 1997. – P. 43–65.
21. Zarrouk C. Contribution a l'etude d'une cyanophycee. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthese de *Spirulina maxima* // Ph.D. thesis. – Paris, 1966. – 138 p.

Институт биологии Южных морей  
г. Севастополь

Получено 01.10.2005

Yu. V. BRYANTSEVA, Y. V. DROBECKAYA, Y. A. KHARCHUK

#### CHARACTERISTICS OF CYANOBACTERIUM SPIRULINA (ARTHROSPIRA) PLATENSIS

##### Summary

The general characteristics of the microalga *Spirulina (Arthrospira) platensis* (Nordstedt) Gomont (systematic position and biology) is given in the article on the base of literature data. The pattern of passport for the strains IBSS-32 is shown. Morphometric characteristics of each of 4 strains of the given species from the collection of biotechnologies and phytoresources dept., IBSS NAS of Ukraine are considered.