

DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-4-vyu-ol-set

УДК 581.522.4

Ю.К. Виноградова, Л.В. Озерова

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина
Российской академии наук,
127276 г. Москва, Российская Федерация

Изменения устьичного аппарата *Sesuvium portulacastrum* (Aizoaceae) в оранжерейных условиях

Проведено сравнение параметров устьиц *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. (Aizoaceae) между образцами, собранными в натурализирующейся популяции в Египте, и теми же растениями после полугода их культивирования в оранжерее Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук. Устьичный аппарат изучен методом лаковых реплик по Полаччи и характеризовался по 21 количественному признаку. Листья *S. portulacastrum* амфистоматические, устьичный аппарат парацидного типа. Общая площадь транспирации за шесть месяцев культивирования образцов достоверно не изменилась, но тенденция снижения площади устьиц имеет место. Отношение численности устьиц на верхней, адаксиальной, стороне листа к общей численности устьиц вдвое снизилось в связи с уменьшением солнечной радиации. Одновременно вдвое увеличилась численность устьиц на абаксиальной стороне листа. Таким образом, начало адаптации устьичного аппарата *S. portulacastrum* к условиям оранжерейной культуры проявляется в снижении числа устьиц на адаксиальной стороне листовой пластинки и в отчетливой тенденции снижения площади устьиц.

Ключевые слова: *Sesuvium portulacastrum*, устьица, Египет, натурализация, оранжерея, адаптация растений

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук «Инвазионные растения России: инвентаризация, биоморфологические особенности и эффективные методы контроля расселения» (122042600141-3) и «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» (№ 122042700002-6).

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Виноградова Ю.К., Озерова Л.В. Изменения устьичного аппарата *Sesuvium portulacastrum* (Aizoaceae) в оранжерейных условиях // Социально-экологические технологии. 2025. Т. 15. № 4. С. 337–347. DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-4-vyu-ol-set

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-4-vyu-ol-set

Yu.K. Vinogradova, L.V. Ozerova

Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences,
Moscow, 127276, Russian Federation

Changes in the stomal apparatus of *Sesuvium portulacastrum* (Aizoaceae) under greenhouse conditions

A comparison of the stomatal parameters of *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. (Aizoaceae) was carried out between samples collected from a naturalizing population in Egypt and the same plants after six months of cultivation in the greenhouse of the Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. The stomatal apparatus was studied using the Polacci lacquer replica method and characterized by 21 quantitative traits. *S. portulacastrum* leaves are amphistomatic, with a paracytic stomata. The total transpiration area did not change significantly over six months of cultivation, but a downward trend in stomatal area was observed. The ratio of stomata on the upper, adaxial side of the leaf to the total number of stomata decreased by half due to decreased solar radiation. At the same time, the number of stomata

on the abaxial side of the leaf doubled. Thus, the beginning of adaptation of the stomatal apparatus of *Sesuvium portulacastrum* to greenhouse conditions is manifested by a decrease in the number of stomata on the adaxial side of the leaf blade and a distinct trend toward decreased stomatal area.

Key words: *Sesuvium portulacastrum*, stomata, Egypt, greenhouse, adaptation, naturalization

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences “Invasive plants of Russia: Inventory, biomorphological features and effective methods of control of dispersal” (No. 122042600141-3) and “Biological diversity of natural and cultivated flora: Fundamental and applied issues of study and conservation” (No. 122042700002-6).

CITATION: Vinogradova Yu.K., Ozerova L.V. Changes in the stomal apparatus of *Sesuvium portulacastrum* (Aizoaceae) under greenhouse conditions. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2025. Vol. 15. No. 4. Pp. 337–347. DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-4-vyu-ol-set

Устьичный аппарат задействован в газообмене растений, поэтому его микроморфологические и физиологические признаки адаптируются и к локальным, и к макроизменениям окружающей среды [Hetherington, Woodward, 2003]. Параметры и распределение устьиц зависят также от внутриклеточных сигналов и могут варьировать как в пределах листа, так и в пределах отдельных особей одного вида [Al Afas et al., 2006].

У амфистоматических листьев численность устьиц обычно больше на нижней поверхности листа, чем на верхней, а отношение численности устьиц на верхней стороне листа к общей численности устьиц имеет тенденцию к снижению с уменьшением солнечной радиации [James, Bell, 2000]. Однако число и размеры устьиц могут изменяться также под влиянием ряда экологических факторов: света, влажности воздуха, влагообеспеченности и концентрации CO₂ в атмосфере [Woodward, Kelly, 1995]. Растение должно поддерживать движение воды из почвы к листу, и быстрая реакция устьиц на изменение окружающей среды является одной из основных характеристик этого поддержания [Hetherington, Woodward, 2003].

Рабочая гипотеза нашего исследования предполагает, что параметры устьичного аппарата меняются при преднамеренной интродукции растений в новые условия среды. Ранее мы протестировали эту гипотезу на примере *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. BR. [Озерова, Виноградова, 2025],

но сравнение проводили на особях различного географического происхождения. Сравнение микроморфологических признаков устьиц одних и тех же экземпляров, произрастающих в природе, а впоследствии и в оранжерейной культуре, до сих пор не проводилось.

Sesuvium portulacastrum (L.) L. – многолетнее стелющееся травянистое растение семейства Aizoaceae. Этот вид является важным прибрежным псаммофитным факультативным галофитом, обладающим выраженной физиологической и молекулярной лабильностью, которая позволяет ему адаптироваться и выживать в различных стрессовых условиях [Moseki, Buru, 2010; Rabhi et al., 2010; Zaier et al., 2010; Lokhande et al., 2011]. *S. portulacastrum* зарегистрирован по берегам субтропических и тропических областей всех пяти континентов и обычно является пионером на прибрежных дюнах и побережьях. Растение растет на различных субстратах: известняк, кораллы, песчаный и галечный грунт, предпочитая влажные песчаные участки, включая пляжи, прибрежные дюны, мангровые заросли, солончаки. Вид легко переносит засуху и засоление [Taylor, 1992; Lonard, Judd, 1997]. Культивируется как почвопокровное декоративное растение, используется для фиторекультивации засоленных почв в засушливых и полувасушливых регионах и как альтернативная овощная и кормовая культура для проблемных почв [Lokhande et al., 2009, 2013].

S. portulacastrum интродуцирован в Египет из Франции 10 лет назад в частный сад в качестве декоративного вида. Натурализирующиеся популяции отмечены в настоящее время на засоленных песчаных почвах на берегах оросительного канала в окрестностях Александрии, а также в окрестностях курортов Хургада и Шарм-эль-Шейх [Heneidy et al., 2024].

Литература относительно микроморфологических признаков листьев *S. portulacastrum* довольно отрывочна, большинство работ посвящено способности растения накапливать высокие концентрации тяжелых металлов [Al-Asadi et al., 2022]. Имеются данные о влиянии на ультраструктуру клеток кадмиевого стресса, при котором деформируется и истончается клеточная стенка, плазматические мембраны теряют форму и размер, а цитоплазма несколько фрагментируется [Uddin et al., 2023], а также о влиянии избытка серебра и свинца, при котором уменьшаются и деформируются клетки эпидермиса [Al-Asadi et al., 2022].

Цель данной работы – сравнительная характеристика устьичного аппарата *S. portulacastrum* в природе и в оранжерейных условиях для оценки лабильности этого признака при адаптации растений к новым условиям среды.

Материалы и методы

В феврале 2025 г. в натурализующейся популяции, занимающей открытую прибрежную полосу в окрестностях г. Сафага (Египет, N 26.842133; E 33.997041), отобрано 3 растения, с каждого из которых собрано по 2 листа из средней части побега. Растения идентифицированы как *Sesuvium portulacastrum* subsp. *portulacastrum*. Данный таксон отличается от близкого подвида *S. portulacastrum* subsp. *persoonii* Sukhor. сильным ветвлением и слабомясистыми (толщиной 1,5–4 мм) продолговато-лопатчатыми или обратноланцетными листьями на коротких (до 3 мм) черешках [Sukhorukov et al., 2018].

Для изучения особенностей устьичного аппарата использовался метод получения лаковых реплик со свежих листьев [Виноградова и др., 2020]. Анализировали следующие микроморфологические признаки: число замыкающих клеток устьиц, длина продольной оси устьица (L), длина экваториальной оси (D), форма устьиц (по соотношению L/D), площадь одного устьица (S_{yc}), число устьиц на единицу площади, общая транспирационная площадь (средняя площадь одного устьица, умноженная на число устьиц в поле зрения микроскопа, nS). Эти семь признаков изучены как для абаксиальной, так и для адаксиальной стороны листа, а затем определено их соотношение. Таким образом, устьичный аппарат обоих образцов характеризовался по 21 количественному признаку.

Фрагменты растений были высажены в Фондовую оранжерею Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН). Интродуцированные растения культивируются при естественном освещении, без дополнительной подсветки, влажности менее 50%, с умеренным поливом зимой (1 раз в 2 недели) и более частым поливом летом (1–2 раза в неделю). В сентябре 2025 г. после полугодия культивирования в оранжерее вновь проанализировали параметры устьиц для выявления изменений структуры устьичного аппарата растений в условиях культуры.

Морфометрические признаки измеряли с помощью цифрового микроскопа Keyence VHX-1000E. Объем пробы для определения размеров устьиц – 40–50 шт. Среднюю площадь устьиц вычисляли по формуле площади эллипса:

$$S_{yc} = \pi \cdot 1/2L \cdot 1/2D,$$

где L – средняя длина продольной оси устьица; D – средний экваториальный диаметр устьица. Число устьиц (n) подсчитывали не менее чем в 5 полях зрения микроскопа при увеличении $\times 300$. Статистический анализ проведен с использованием программы PAST 3.15. Различия между образцами устанавливали с помощью теста Tukey–Kramer ($\alpha = 0,05$).

Результаты и обсуждение

Листья *Sesuvium portulacastrum* амфистоматические: устьица располагаются и на адаксиальной, и на абаксиальной сторонах листа. Эпидермис включает многочисленные крупные округлые водозапасающие клетки $120\text{--}150 \times 100$ мкм, между которыми располагаются устьица (рис. 1). Устьица окружены двумя крупными почковидными замыкающими клетками и несколько углублены. Устьичный аппарат парацитного типа: каждая из замыкающих клеток устьиц сопровождается одной побочной клеткой, располагающейся параллельно замыкающей клетке.

Данные по морфометрическим признакам представлены в табл. 1. Форма устьиц не меняется: $L/D = 1,4\text{--}1,6$.

Таблица 1

Параметры устьиц *Sesuvium portulacastrum*, произрастающего в естественных условиях (Египет) и в оранжерее Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН [Parameters of stomata of *Sesuvium portulacastrum* growing in natural conditions (Egypt) and in the greenhouse of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences]

	Длина <i>L</i> , мкм [Length <i>L</i> , μm]	Ширина <i>D</i> , мкм [Width <i>D</i> , μm]	<i>L/D</i>	<i>S = LD</i> , мкм ² [μm ²]	<i>N</i> , шт.** [<i>N</i> , pcs.**]	<i>S</i> , всего, мкм ² [<i>S</i> , total, μm ²]
Абаксиальная сторона [Abaxial side]						
Оранжерея [Greenhouse]	$\frac{30,2 \pm 0,5}{17,6\text{--}36,3^*}$	$\frac{22,0 \pm 0,4}{16,2\text{--}29,5}$	1,4	$521,3 \pm 12,6$	5,2	2711
Египет [Egypt]	$\frac{35,0 \pm 0,7}{22,1\text{--}46,5}$	$\frac{23,8 \pm 0,4}{17,2\text{--}34,3}$	1,5	$656,5 \pm 18,5$	2,7	1773
Адаксиальная сторона [Adaxial side]						
Оранжерея [Greenhouse]	$\frac{34,1 \pm 1,4}{22,1\text{--}50,1}$	$\frac{21,6 \pm 0,8}{15,6\text{--}32,0}$	1,6	$583,4 \pm 42,9$	1,8	1050
Египет [Egypt]	$\frac{35,1 \pm 0,6}{23,2\text{--}48,4}$	$\frac{25,8 \pm 0,5}{15,5\text{--}40,3}$	1,4	$710,2 \pm 19,1$	3,9	2770

Примечание. * – здесь и далее в числителе – среднее значение, в знаменателе – амплитуда изменчивости; ** *N* – число устьиц в поле зрения микроскопа при увеличении $\times 1000$.

[Note. * – from here on, the numerator is the mean value, and the denominator is the amplitude of variability; ** *N* is the number of stomata in the field of view of the microscope at a magnification of $\times 1000$.]

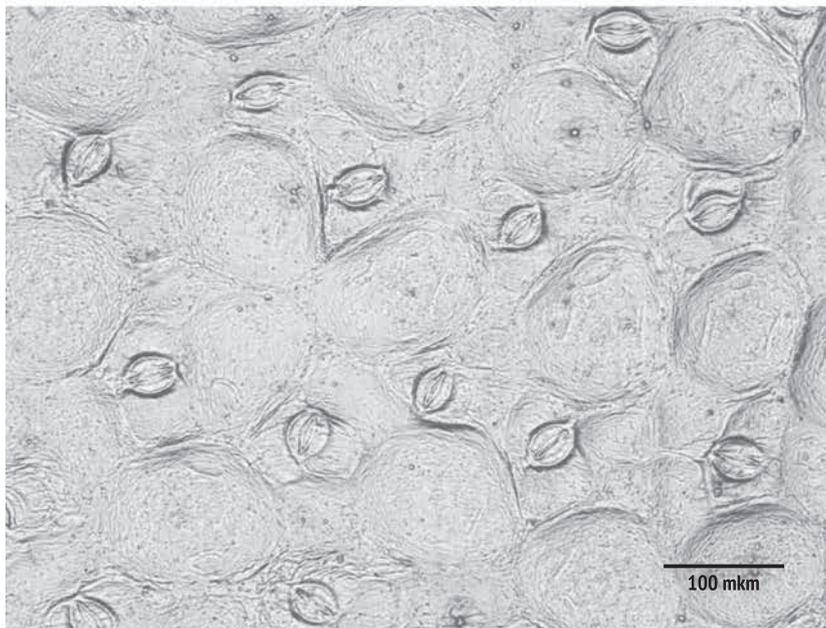
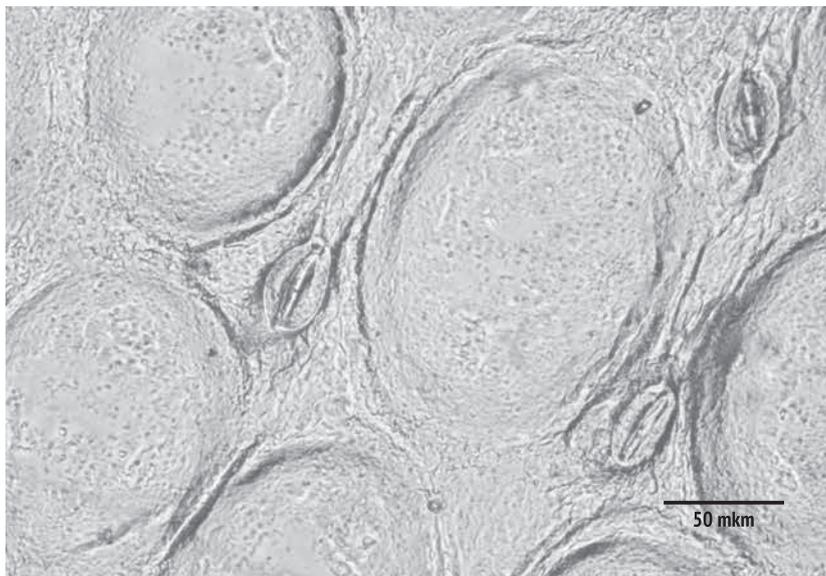


Рис. 1. Эпидермис абаксиальной стороны листа *Sesuvium portulacastrum*

Fig. 1. Epidermis of the abaxial side of the *Sesuvium portulacastrum* leaf

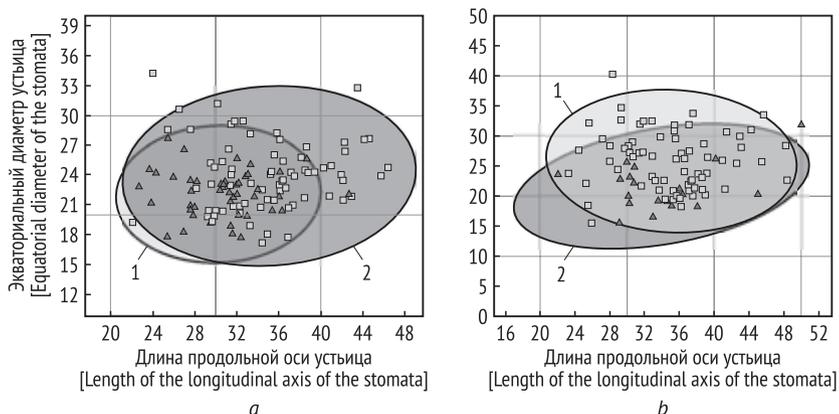


Рис. 2. Размеры устьиц *Sesuvium portulacastrum*:

a – естественные условия (Египет); *b* – оранжерея Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН
1 – абаксиальная сторона листа; 2 – адаксиальная сторона листа

Fig. 2. Sizes of stomata of *Sesuvium portulacastrum*:

a – natural conditions (Egypt); *b* – Greenhouse of the Tsitsin Main Botanical Garden, RAS
1 – the abaxial side of the leaf; 2 – the adaxial side of the leaf

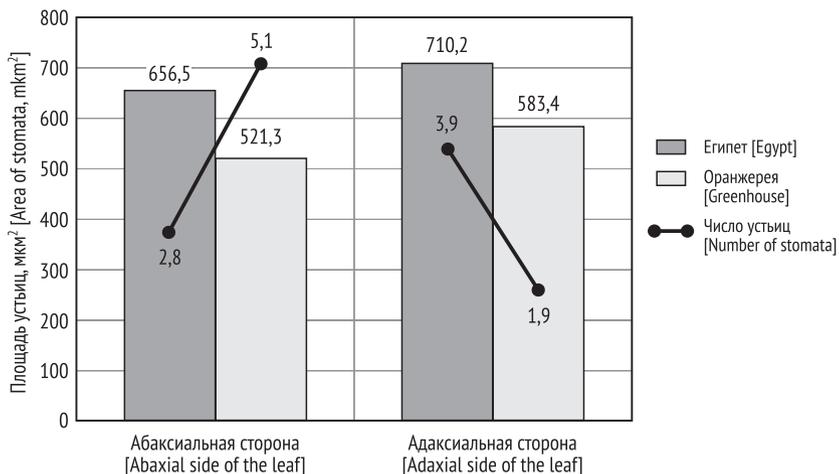


Рис. 3. Площадь и число устьиц *Sesuvium portulacastrum*

Fig. 3. The area and number of stomata of *Sesuvium portulacastrum*

В условиях оранжереи средняя площадь устьиц несколько ниже, чем в природных условиях, однако разность средних не достоверна (рис. 2, 3). При этом среднее число устьиц на адаксиальной стороне листа в условиях оранжереи в два раза ниже, чем в природе, тогда как на абаксиальной стороне листа, наоборот, в два раза выше, чем в природе (см. рис. 3). Устьица как бы «перебираются» с верхней стороны листа на нижнюю.

В результате общая площадь транспирации достоверно не различается и составляет 4543 мкм^2 для египетского образца и 3761 мкм^2 для образца из оранжереи ГBS РАН. Индекс относительной площади транспирации, таким образом, очень мал, как и у всех суккулентов, и составляет всего 4–5%.

Наши данные поддерживают сделанный другими исследователями [Al Afas et al., 2006] вывод, что отношение численности устьиц на верхней стороне листа к общей численности устьиц имеет тенденцию к снижению с уменьшением солнечной радиации: в природных условиях Египта при высоком уровне освещения это отношение составляет 59%, а в оранжерее при низком уровне освещенности – в два раза ниже, всего 26%.

Выводы

Листья *Sesuvium portulacastrum* амфистоматические, устьичный аппарат парацитного типа.

Начало адаптации устьичного аппарата *Sesuvium portulacastrum* к условиям оранжерейной культуры проявляется в увеличении числа устьиц на абаксиальной стороне листовой пластинки с одновременным снижением числа устьиц на адаксиальной стороне листовой пластинки и в заметной тенденции снижения площади устьиц.

Общая площадь транспирации за шесть месяцев культивирования образцов изменения не претерпела. Подтверждена тенденция к снижению отношения численности устьиц на верхней стороне листа к общей численности устьиц с уменьшением солнечной радиации.

Библиографический список / References

Виноградова Ю.К., Григорьева О.В., Вергун Е.Н. Строение устьичного аппарата видов рода *Symphotrichum* Nees как дополнительный показатель их инвазивности // Российский журнал биологических инвазий. 2020. № 4. С. 34–44. [Vinogradova Yu.K., Grigorieva O.V., Vergun E.N. Structure of the stomatal apparatus of species of the genus *Symphotrichum* Nees as an additional indicator of their invasiveness. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2020. No. 4. Pp. 34–44. (In Rus.)]

Озерова Л.В., Виноградова Ю.К. Сравнительная характеристика устьичного аппарата *Carpobrotus edulis* (Aizoaceae) в некоторых популяциях вторичного ареала // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2025. № 1 (77). С. 89–98. [Ozerova L.V., Vinogradova Yu.K. Comparative characteristics of the stomatal apparatus of *Carpobrotus edulis* (Aizoaceae) in some populations of the secondary range. *Gerald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2025. Vol. 1 (77). Pp. 89–98. (In Rus.)]

Al Afas N., Marron N., Ceulemans R. Clonal variation in stomatal characteristics related to biomass production of 12 poplar (*Populus*) clones in a short rotation coppice culture. *Environ. Exp. Bot.* 2006. Vol. 58. Pp. 279–286.

Al-Asadi W.M., Al-Waheeb A.N., Al-Saadi S.A., Al-Taie S.S.K. Effects of Ag and Pb metal accumulation on some biochemical parameters and anatomical characteristics of *Sesuvium portulacastrum* L. (Aizoaceae) plants. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2022. Vol. 20. No. 3. Pp. 617–628.

Heneidy S.Z., Bidak L.M., Halmy M.W.A. et al. Naturalization and invasion potential of *Sesuvium portulacastrum* L. recorded as alien species in Egypt. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. No. 1. P. 3117.

Hetherington A.M., Woodward F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*. 2003. Vol. 424. Pp. 901–908.

James A.S., Bell D.T. Influence of light availability on leaf structure and growth of two *Eucalyptus globulus* ssp *globulus* provenances. *Tree Physiol.* 2000. Vol. 20. Pp. 1007–1018.

Lokhande V.H., Gor B.K., Desai N.S. et al. *Sesuvium portulacastrum*, a plant for drought, salt stress, sand fixation, food and phytoremediation. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2013. Vol. 33. No. 2. Pp. 329–348.

Lokhande V.H., Nikam T.D., Patade V.Y., Ahire M.L. Effects of optimal and supra-optimal salinity stress on antioxidative defense, osmolytes and in vitro growth responses in *Sesuvium portulacastrum* L. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 2011. Vol. 104. Pp. 41–49.

Lokhande V.H., Nikam T.D., Suprasanna P. *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. a promising halophyte: Cultivation, utilization and distribution in India. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2009. Vol. 56. No. 5. Pp. 741–747.

Lonard R.I., Judd F.W. The biological flora of coastal dunes and wetlands. *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. *J. Coast. Res.* 1997. Vol. 13. No. 1. Pp. 96–104.

Moseki B., Buru J. C. Ionic and water relations of *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. *Sci. Res. Ess.* 2010. Vol. 5. Pp. 35–40.

Rabhi M., Ferchichi S., Jouini J. et al. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. *Bioresource Technology*. 2010. Vol. 101. No. 17. Pp. 6822–6828.

Sukhorukov A.P., Nilova M.V., Erst A.S. et al. Diagnostics, taxonomy, nomenclature and distribution of perennial *Sesuvium* (Aizoaceae) in Africa. *PhytoKeys*. 2018. Vol. 92. Pp. 45–88. DOI: 10.3897/phytokeys.92.22205

Taylor C.M. *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum nodiflorum*, New records for the flora of Chile. *Gayana Bot.* 1992. Vol. 49. Pp. 11–15.

Uddin M.M., Chen Z., Xu F., Huang L. Physiological and cellular ultrastructural responses of *Sesuvium portulacastrum* under Cd stress grown hydroponically. *Plants*. 2023. Vol. 12. No. 19. Pp. 3381.

Woodward F.I., Kelly C.K. The influence of CO₂ concentration on stomatal density. *New Phytol.* 1995. Vol. 131. Pp. 311–327.

Zaier H., Ghnaya T., Lakhdar A. et al. Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation. *Journal of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 183. No. 1–3. Pp. 609–615.

Статья поступила в редакцию 19.10.2025, принята к публикации 23.11.2025

The article was received on 19.10.2025, accepted for publication 23.11.2025

Сведения об авторах / About the authors

Виноградова Юлия Константиновна – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории природной флоры, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, г. Москва

Yulia K. Vinogradova – Dr. Biol. Hab.; chief researcher at the Flora Department, Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3353-1230>

E-mail: gbsad@mail.ru

Озерова Людмила Викторовна – кандидат биологических наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории тропических растений, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, г. Москва

Liudmila V. Ozerova – PhD in Biology; senior researcher at the Tropical Plants Laboratory, Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4964-0298>

E-mail: lyozerova@yandex.ru

Заявленный вклад авторов

Авторы в равной степени участвовали в проведении исследования, его описании и анализе полученных результатов

Contributions of the authors

The authors participated equally in the conduct of the study, its description, and analysis of the results obtained

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript