

Элементный состав *Nostoc commune* (Сяанопрокарюта) из Прибайкалья**The elemental composition of *Nostoc commune* (Cyanoprokaryota) from the Baikal region**

Тупикова Г. С., Егорова И. Н., Шергина О. В.

Tupikova G. S., Egorova I. N., Shergina O. V.

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия

E-mails: shambueva93galina@mail.ru; Egorova@sifibr.irk.ru; sherolga80@mail.ru

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Реферат. Нами установлены концентрации 32 элементов (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Ti, V, W, Y, Zn) в талломах наземной водоросли *Nostoc commune* из Прибайкалья, функционирующей в луговой степи на дерново-карбонатной почве. *Nostoc commune* – широко распространенный в наземных экосистемах вид, способный к оксигенному фотосинтезу и фиксации атмосферного азота. Концентрации элементов в *Nostoc commune* из Прибайкалья по степени снижения представлены в следующем ряду: Al > Ca > Mg > K > Fe > P > S > Ti > Na > Ba > Sr > Mn > Cr > Zn > V > Li > Ni > Ce > Cu > La > Bi > Sb > W > Y > Pb > Sc > Co > As > Mo > Ag > Be > Cd. Выявлены высокие корреляционные связи между содержанием Ca, Mg, K в почве и талломах вида.

Ключевые слова. Дерново-карбонатные почвы, Иркутская область, Носток, химические элементы, цианопрокарюты.

Summary. We have established concentrations of 32 elements (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Ti, V, W, Y, Zn) in the thalloms of the terrestrial algae *Nostoc commune* from the Baikal region, functioning in the meadow steppe on sod-carbonate soil. *Nostoc commune* is a widespread species in terrestrial ecosystems, capable of oxygenic photosynthesis and fixation of atmospheric nitrogen. The concentrations of elements in the *Nostoc commune* from the Baikal region according to the degree of reduction are presented in the following series: Al > Ca > Mg > K > Fe > P > S > Ti > Na > Ba > Sr > Mn > Cr > Zn > V > Li > Ni > Ce > Cu > La > Bi > Sb > W > Y > Pb > Sc > Co > As > Mo > Ag > Be > Cd. High correlations between the content of Ca, Mg, K in the soil and thalloms of the species were revealed.

Key words. Chemical elements, cyanoprokaryotes, Irkutsk region, *Nostoc*, Sod-carbonate soils.

Nostoc commune Vaucher ex Bornet et Flahault (носток обыкновенный) – широко распространенный в наземных экосистемах вид, способный к оксигенному фотосинтезу и фиксации атмосферного азота. На протяжении многих веков местное население некоторых стран использовало его в качестве пищи или как ингредиент народной медицины (Потанин, 1893; Еленкин, 1931; Potts, 1997 и др.). Установлено, что вид содержит значительное количество белков, аминокислот, жирных кислот, полисахаридов, флавоноидов, витаминов и других соединений, проявляющих противоопухолевое, антивирусное, антибактериальное, противовоспалительное действие (Li et al., 2003; Kanekiyo et al., 2005; Tamaru et al., 2005; Diao et al., 2012; Rodriguez et al., 2017 и др.). В настоящее время аналитические данные об элементном составе *Nostoc commune* малочисленны и фрагментарны (Большев, 1968; Patova et al., 2000; Patova, Sivkov, 2003; Diao et al., 2012; Hoktha, Kaewmekha, 2016; Martinez-Goss et al., 2021; Wang et al., 2021; Liang et al., 2022). Для территории Прибайкалья сведения об элементном составе *Nostoc commune* представлены узким спектром элементов (Егорова и др., 2023).

Методами эмиссионной пламенной фотометрии и атомно-абсорбционной спектроскопии нами впервые установлены концентрации 32 элементов в талломах *Nostoc commune* из окр. с. Баяндай (Иркутская область, Россия). Среднее содержание элементов в ностоке составило: Al – 15053 ± 124; Ca – 11152 ± 5896; Mg – 3210 ± 2213; K – 2250 ± 656; Fe – 2229 ± 1277; P – 1944 ± 352; S – 1016 ± 92; Ti – 648 ± 39; Na – 428 ± 326; Ba – 426 ± 78; Sr – 243 ± 56; Mn – 66 ± 25; Cr – 28 ± 6; Zn – 21 ± 7; V – 20 ± 1; Li – 17 ± 4; Ni – 14 ± 3; Ce – 10 ± 0,6; Cu – 5 ± 2; La – 5 ± 0,1; Pb – 3 ± 2; Bi, Sb, W – < 5; Y – 4 ± 0,5; Sc – 3 ± 0,02;

Co – $2 \pm 0,3$; As – $2 \pm 0,5$; Mo – $1 \pm 0,04$; Ag < 1; Be – $0,3 \pm 0,08$; Cd – $0,07 \pm 0,04$ мг/кг. Выявлено наличие прямой корреляции сильной и средней степени между содержанием Ca и Mg ($r_s = 0,9542$), Mg и Cd ($r_s = 0,60$), Mn и Fe ($r_s = 0,80$), Pb и Fe ($r_s = 0,67$) Fe и Cu ($r_s = 0,65$), Fe и K ($r_s = 0,50$), Cu и Zn ($r_s = 0,55$), K и Zn ($r_s = 0,58$). Это дает основание предположить наличие синергизма между этими элементами при накоплении их в *Nostoc commune*.

Полученные нами данные по содержанию элементного состава *Nostoc commune* частично согласуются с известными для вида из северных территорий России, Казахстана, Китая, Филиппин (Большев, 1968; Patova et al., 2000; Patova, Sivkov, 2003; Diao et al., 2012; Hoktha, Kaewmekha, 2016; Martinez-Goss et al., 2021; Wang et al., 2021; Liang et al., 2022). Наиболее высокие концентрации накопления ностоком кадмия, свинца и цинка зарегистрированы в талломах ностока из Таиланда (Hoktha, Kaewmekha, 2016), а максимальное содержание кальция (84014 мг/кг), магния (8757,8 мг/кг), калия (5479,6 мг/кг) в ностоке из Китая (о. Тайвань) (Tseng et al., 2021). По сравнению с образцами вида из других регионов в ностоке из Прибайкалья были обнаружены наибольшие количества алюминия, титана, бария, хрома, иттрия и наименьшее содержание натрия и кадмия.

В отличие от водных представителей цианопрокариот озера Байкал (*Stratonostoc verrucosum* (Bornet & Flahault) Elenkin и *Tolypothrix distorta* Kützing ex Bornet & Flahault) (Куликова и др., 2008) *N. commune* накапливал больше стронция, бария, титана, вольфрама, скандия, иттрия, лантана и церия, но меньше цинка, кадмия, никеля. Значения по содержанию меди, молибдена, марганца в *Stratonostoc verrucosum*, а также свинца, молибдена, кобальта, никеля, иттрия в *Tolypothrix distorta* были близкими по содержанию этих элементов в *Nostoc commune*. Содержание в ностоке алюминия, магния, фосфора сопоставимо с эпигейным лишайником *Peltigera rufescens* (Weiss) Acharius, фитобионтами которого являются цианопрокариоты (Табаленкова и др., 2016). В отличие от *Peltigera rufescens*, *N. commune* аккумулировал больше кальция и натрия, но меньше калия, железа, марганца, цинка, меди и кадмия.

Известно, что одним из определяющих факторов, влияющих на накопление элементов, является содержание и доступность этих элементов в среде обитания. Вид функционировал на дерново-карбонатных нейтральных и щелочных почвах. В органо-аккумулятивных горизонтах почв были измерены концентрации кальция, магния, калия и натрия. Установлена высокая корреляционная связь между содержанием кальция, магния, калия в *Nostoc commune* и в почве и низкая по содержанию натрия. Можно сделать вывод, что почва является основным источником поступления кальция, магния, калия в *Nostoc commune*, и содержание этих элементов в ностоке зависит от их количества в почве. Источником поступления натрия, вероятно, могут служить атмосферные осадки или растительные остатки (Большев, 1968).

ЛИТЕРАТУРА

- Большев Н. Н.** Водоросли и их роль в образовании почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – 84 с.
- Егорова И. Н., Шергина О. В., Тупикова Г. С.** Минеральный состав почвенной цианопрокариоты *Nostoc commune* из Байкальского региона // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2023. – № 1. – С. 67–76.
- Еленкин А. А.** О некоторых съедобных пресноводных водорослях // Природа, 1931. – № 10. – С. 695–992.
- Куликова Н. Н., Парадина Л. Ф., Сутурин А. Н., Таничева И. В., Ижболдина Л. А., Ханаев И. В., Тимошкин О. А.** Микроэлементный состав круглогодично вегетирующих макроводорослей каменистой литорали оз. Байкал (Россия) // Альгология, 2008. – Т. 18, № 3. – С. 244–255.
- Потанин Г. Н.** Тангутско-Тибетская окраина Китая и Центральная Монголия. Путешествие Г. Н. Потанина 1884–1886. – Т. 2. – СПб, 1893. – 486 с.
- Табаленкова Г. Н., Далькэ И. В., Головкин Г. К.** Элементный состав биомассы некоторых видов бореальной зоны Европейском Северо-Востоке // Известия Самарского научного центра, 2016. – Т. 18, № 2. – С. 221–225.
- Diao Y., Han H., Zhang D., Zhou J., Yang Z.** Determination of nine micro elements in *Nostoc commune* Vauch. by ICP-AES // Adv. Mat. Res., 2012. – Vol. 518. – P. 5020–5023.
- Hoktha P., Kaewmekha A.** Determination of heavy metal (Pb, Cd, and Zn) in blue-green algae (*Nostoc commune*) by atomic absorption spectrophotometry // International Journal of Advances in Science, Engineering and Technology, 2016. – Vol. 4, iss. 1. – P. 1–2.
- Kanekiyo K.** Isolation of an antiviral polysaccharide, nostoflan, from a terrestrial cyanobacterium, *Nostoc flagelliforme* // J. Nat. Prod., 2005. – Vol. 68. – P. 1037–1041.
- Li D. H., Liu Y. D.** The past decade's researches on *Nostoc commune* Vaucher in China—a review // Acta Hydrobiol. Sini., 2003 – Vol. 27. – P. 408–412.
- Liang Y. Shy X., Wang W.** Biochemical composition, heavy metal content and their geographic variations of the form species *Nostoc commune* across China // Food Science and Technology, 2022. – Vol. 42. – P. 1–8.

Martinez-Goss M. R., Arguelles E. DLR., Sapin A. B., Almeda R. A. Chemical composition and in vitro antioxidant and antibacterial properties of the edible Cyanobacterium, *Nostoc commune* Vaucher // Phillipine science letters, 2021. – Vol. 14. – P. 25–34.

Patova E., Sivkov M. Accumulation of heavy metals by *Nostoc commune* Vauch. ex Bornet et Flahault (Cyanoprokaryota) in terrestrial tundra ecosystems of the Russian Arctic // Algological Studies, 2003. – Vol. 109, No. 1. – P. 469–473.

Patova E. N., Sivkov M. D., Getzen M. V. The accumulation of heavy metals by terrestrial nitrogen-fixing alga *N. commune* Vauch in the East-European Tundra // International Journal on Algae, 2000. – Vol. 2, No. 3. – P. 11–18.

Potts M. Etymology of the genus name *Nostoc* (Cyanobacteria) // Inter. J. System. Bacteriol, 1997. – Vol. 47. – P. 584.

Rodriguez S., Gonzales K. N., Romero E. G., Troncoso O. P., Torres F. G. Unusual reversible elastomeric gels from *Nostoc commune* // Int J Biol Macromol., 2017. – Vol. 97. – P. 411–417.

Tamaru Y. Takani Y., Yoshida T., Sakamoto T. Crucial role of extracellular polysaccharides in desiccation and freezing tolerance in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune* // Appl. Environ. Microbiol., 2005. – Vol. 71. – P. 7327–7333.

Tseng C.-C., Yeh N.-Y., Liao Z.-H., Hung S.-W., Chen B., Lee P.-T., Nan F.-H., Shih W.-L., Chang C.-C., Lee M.-C. An in vitro study shows the potential of *Nostoc commune* (Cyanobacteria) polysaccharides extract for wound-healing and anti-allergic use in the cosmetics industry // Journal of functional foods, 2021. – Vol. 87. – P. 1–9.

Wang W., Li H., Guenon R., Yang Y., Shy X., Cheng X., Zhang Q. Geographical; variability of mineral elements and stability of restrictive mineral elements in terrestrial cyanobacteria across gradients of climate, soil, and atmospheric wet deposition mineral concentration // Frontiers in microbiology, 2021. – Vol. 11. – P. 1–12.