

Изменение почвенной актинобиоты под влиянием инвазии борщевика Сосновского

© 2018. Е. В. Товстик¹, к. б. н., доцент, с. н. с.,
 И. Г. Широких^{1, 2, 3}, д. б. н., профессор, в. н. с.,
 Е. С. Соловьёва¹, к. б. н., доцент,
 А. А. Широких^{1, 2}, д. б. н., профессор, в. н. с.,
 Т. Я. Ашихмина^{1, 3}, д. т. н., профессор, зав. лабораторией,
 В. П. Савиных^{1, 4}, д. т. н., профессор, член-корреспондент РАН,
¹Вятский государственный университет,
 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
²Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого,
 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а,
³Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
⁴Московский государственный университет геодезии и картографии,
 105064, Россия, г. Москва, ул. Гороховский пер., 4,
 e-mail: tovtik2006@inbox.ru, irgenal@mail.ru

Отдельные виды растений, а также растительные сообщества могут существенно влиять на структуру и разнообразие почвенных микробных сообществ. Актиномицеты являются неотъемлемым компонентом почвенной микробной системы, осуществляющей важные экологические функции, связанные, в числе прочих, с трансформацией органического вещества. Настоящее исследование было проведено для выявления различий в структуре почвенных актиномицетных комплексов между участками, заросшими борщевиком Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) и неинвазированными (контрольными) участками. Отмечено увеличение родового и видового разнообразия актиномицетов в инвазированных почвах, по сравнению с контролем, в частности представители рода *Streptosporangium* встречались исключительно на захваченных борщевиком участках. На этих же участках отмечено увеличение доли окрашенных видов стрептомицетов, представляющих секцию и серию *Cinereus Chromogenes*, тогда как в стрептомицетном комплексе контрольных почв по доле участия доминировали не продуцирующие пигментов представители секции и серии *Cinereus Achromogenes*. Выявленные различия могут быть связаны с усиленной минерализацией органического вещества в почвах под зарослями борщевика.

Ключевые слова: *Heracleum sosnowskyi* Manden., почва, инвазия, актиномицеты, общая численность, видовое разнообразие, структура комплекса.

The change in soil actinobiote under the influence of *Heracleum sosnowskyi* invasion

© 2018. E. V. Tovstik¹ ORCID: 0000-0003-1861-6076, I. G. Shirokikh^{1, 2, 3} ORCID: 0000-0002-3319-2729,
 E. S. Soloveva¹ ORCID: 0000-0001-9222-7752, A. A. Shirokikh^{1, 2} ORCID: 0000-0002-3319-2729,
 T. Ya. Ashikhmina^{1, 3} ORCID: 0000-0003-4919-0047, V. P. Savinykh^{1, 4} ORCID: 0000-0002-3259-6721,
¹Vyatka State University,
 36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
²Federal Agricultural Research Center of North-East named N.V. Rudnitsky,
 166a, Lenin St., Kirov, Russia, 610007,
³Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch
 of the Russian Academy of Sciences,
 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
⁴Moscow State University of Geodesy and Cartography,
 4, Gorokhovskiy Pereulok, Moscow, Russia, 105064,
 e-mail: tovtik2006@inbox.ru, irgenal@mail.ru

Certain plant species, as well as phytocenosis, can significantly influence the structure and diversity of soil microbiocenosis. Actinomycetes are an integral component of a soil microbiocenosis that carries out important environmental functions, inter alia, with the transformation of organic matter. This study was carried out to reveal differences in the structure of soil actinomycetes complexes between sites overgrown with the *Heracleum Sosnowskyi* Manden. and non-invasive (control) plots. An increase in genus and species diversity of actinomycetes in invaded soils was noted, compared with control, in particular, the representatives of the genus *Streptosporangium* were found exclusively on hogweed-occupied plots. The appearance of *Streptosporangium* in the structure of soils actinomycete complexes under hogweed may indicate that hogweed root exudates contain compounds attractive for this mycelial prokaryotes genus. On the same plots, an increase in the proportion of colored streptomycetes representing the section and series of *Cinereus Chromogenes* was noted, whereas in the control soils streptomycetin complex, the non-producing pigments were dominated by representatives of the section and series of *Cinereus Achromogenes*. In the areas of mass growth of *Heracleum Sosnowskyi*, in comparison with the control plots, a lower carbon content in the soil was noted, which, in addition to the changes in the structure of actinomycete complexes, confirms the fact of intensive organic matter mineralization in soils under the hogweed. Despite the considerable above-ground biomass, at the end of vegetation the removal of nutrients is not replenished by the hogweed plant litter.

Keywords: *Heracleum sosnowskyi* Manden., soil, invasion, actinomycetes, total number, species diversity, structure of the complex.

Проблема биологических инвазий в настоящее время приобретает всё большую значимость во всём мире [1]. Прежде всего, это связано с увеличением количества случаев интродукции, а также экспансии чужеродных видов организмов, создающих прямую угрозу биологическому разнообразию естественных экосистем, ведущих к потере их экономической значимости [2].

Изменение абиотических факторов среды, высокие репродуктивные способности, повышающие конкурентоспособность чужеродных видов, способствуют усилению их биологических инвазий [3–5]. Взаимодействие с почвенным микробным сообществом также может увеличить инвазивность через обратную связь растений с почвой [6]. Для некоторых инвазивных видов растений отмечают тесную связь между их лёгким вторжением и отсутствием в почве патогенных для них микроорганизмов [3]. Одним из механизмов повышения конкурентоспособности чужеродных растений является их симбиоз с микоризными грибами, а также азотфиксирующими бактериями [7, 8]. В то же время инвазия чужеродных видов растений возможна и без участия их естественных симбионтов. Исследования микробно-растительных взаимодействий, особенно среди инвазивных популяций растений, играют важную роль в понимании, почему некоторые генотипы более успешны, чем другие [9, 10].

Heracleum sosnowskyi Manden – один из самых опасных для человека инвазивных видов растений [11, 12]. Его распространение в некоторых странах Европы, а также в отдельных регионах РФ в настоящее время приобрело масштаб экологического бедствия [13–16]. Известно, что в процессе жизнедеятельности различные части этого растения производят

соединения, обладающие широким спектром биологической активности [17, 18]. Попадая в почву с корневыми экссудатами, многие из них способны влиять на микробные сообщества [19, 20].

Целью данной работы являлось сравнительное изучение структуры и разнообразия актиномицетных комплексов почв на участках массового роста *Heracleum sosnowskyi* Manden. и свободных от него (контрольных).

Объекты и методы

Образцы дерново-подзолистых почв для исследования отбирали на участках массового роста *H. sosnowskyi* вблизи г. Кирова (N 058°030,380' E 049°036,683') и в Фалёнском районе Кировской области (N 058°021,558' E 051°033,533') (участки №№ 1 и 3 соответственно). Контролем служили образцы почв под разнотравными луговыми сообществами, отобранные за пределами участков массового роста борщевика Сосновского (участки №№ 2 и 4 соответственно в г. Кирове и Фалёнском районе). Отбор почвенных образцов для анализа проводили в летний период на глубину 0–20 см, включая толщу дернины.

В почве определяли численность актиномицетов методом посева из разведений почвенных суспензий на плотные питательные среды с применением селективных приёмов [21]. Родовую структуру актиномицетных комплексов характеризовали на среде с пропионатом натрия, видовую структуру рода *Streptomyces* – на казеин-глицериновом агаре. Родовую и видовую идентификацию культур проводили в соответствии с определителями, используя морфологические и культуральные признаки [22, 23]. Для характеристики структуры комплексов использовали показатели частоты

встречаемости и долевого участия отдельных таксонов [24].

Наряду с микробиологическим анализом определяли содержание органического вещества и pH_{KCl} почвенной вытяжки, согласно общепринятым методикам [25].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы EXCEL.

Результаты и обсуждение

По данным химического анализа, кислотность почв, отобранных в черте г. Кирова (pH_{KCl} 6,8 и 6,9) существенно уступала кислотности почв, отобранных в Фалённом районе (pH_{KCl} 4,4 и 4,6), что согласуется с представлениями о подщелачивающем влиянии загрязняющих веществ городской среды даже на кислые от природы зональные почвы. В то же время, различий по кислотности между почвами под моносообществом *H. sosnowskiyi* и на контрольных участках, ни в одном из обследованных экотопов не выявлено. Таким образом, влияние борщевика на почвенную актинобиоту исследовали в почвах, различающихся степенью кислотности: близкой к нейтральной и в среднекислой. Исследуемые почвы различались также по содержанию органического вещества ($C_{орг.}$): под борщевиком Сосновского (участки №№ 1 и 3) значения $C_{орг.}$ были достоверно ниже (соответственно 5,9 и 6,5%), чем на контрольных участках ($C_{орг.}$ 7,8 и 14,2% для участков №№ 2 и 4 соответственно), что возможно связано с отсутствием постоянной подстилки в инвазивных зарослях

борщевика [19]. Кроме того, условия в сообществах борщевика не способствуют развитию трав нижнего яруса из-за сильного затенения и аллелопатического воздействия [26]. Единственным источником органических веществ в почве под борщевиком являются его зимующие мощные стержневые корневые системы.

В почвах, отобранных в черте города, при посеве почвенных суспензий на среду с пропионатом натрия, регистрировали численность актиномицетов, на порядок более низкую ((от $8,08 \pm 1,69$ до $8,66 \pm 1,40$) $\cdot 10^5$ КОЕ/г), чем в почвах, отобранных в удалённом от города Фалённом районе ((от $17,67 \pm 2,72$ до $20,72 \pm 1,97$) $\cdot 10^5$ КОЕ/г) (табл. 1). Разницы между почвами под борщевиком и почвами под многовидовым луговым сообществом по численности актиномицетов не обнаружено.

В отличие от общей численности, родовое разнообразие актиномицетов, характеризуемое индексом Шеннона (H), зависело от растительного сообщества. По сравнению с почвами контрольных участков (H от $0,96 \pm 0,04$ до $1,03 \pm 0,03$ бит/г) родовое разнообразие в почвах под моносообществами борщевика Сосновского было выше (H от $1,03 \pm 0,03$ до $1,14 \pm 0,01$ бит/г).

Кроме того, если в структуре актиномицетных почвенных комплексов контрольных участков обнаружены на родовом уровне представители всего трёх таксонов (*Streptomyces*, *Micromonospora* и олигоспоровые виды), то в почвах под моносообществами борщевика их количество увеличилось до четырёх за счёт представителей рода *Streptosporangium*. Появление стрептоспорангиумов в структуре

Таблица 1 / Table 1

Характеристика комплексов актиномицетов на участках массового роста борщевика Сосновского
Characteristics of actinomycetes complexes in areas of mass growth of *Heracleum sosnowskiyi* Manden.

Растительное сообщество Plant community	№ участка Site No.	Общая численность актиномицетов, $\times 10^5$ КОЕ/г The total number of actinomycetes, $\times 10^5$ CFU/g	Частота встречаемости / долевого участие, % Frequency of occurrence / share of participation, %				Индекс Шеннона, бит/г Shannon index, bit/g
			<i>Streptomyces</i>	<i>Micromonospora</i>	<i>Streptosporangium</i>	олигоспоровые формы oligospermia forms	
Моносообщества борщевика Mono-communities of <i>H. sosnowskiyi</i>	1	$8,66 \pm 1,40$	100/45,2	100/54,2	40/0,2	60/0,4	$1,03 \pm 0,03$
	3	$17,67 \pm 2,72$	100/60,0	100/36,9	20/0,1	100/3,0	$1,14 \pm 0,01$
Многовидовые луговые сообщества Multi-species meadow communities	2	$8,08 \pm 1,69$	100/39,3	100/60,0	0/0	80/0,7	$0,96 \pm 0,04$
	4	$20,72 \pm 1,97$	100/62,2	100/36,7	0/0	100/1,1	$1,03 \pm 0,03$

Таблица 2/ Table 2

Характеристика структуры комплексов стрептомицетов на участках массового роста борщевика Сосновского / Characteristics of the structure of streptomycetes complexes in the areas of mass growth of *Heracleum sosnowskyi* Manden.

Растительное сообщество Plant community	№ участка Site No.	Частота встречаемости / долевое участие, % Frequency of occurrence / share of participation, %						Индекс Шеннона, бит/г Shannon index, bit/g
		1*	2	3	4	5	6	
Моносообщества борщевика Mono-communities of <i>H. sosnowskyi</i>	1	100/16,5	40/3,2	0/0	100/26,7	100/24,2	100/29,4	2,03±0,15
	3	100/8,3	100/17,5	0/0	100/21,1	100/4,9	100/48,1	1,84±0,09
Многовидовые луговые сообщества Multi-species meadow communities	2	100/19,6	0/0	60/1,6	100/32,7	100/24,5	100/21,6	1,87±0,14
	4	100/13,7	80/5,9	0/0	100/10,1	100/4,9	100/65,4	1,54±0,06

Примечание / Note: * 1 – *Cinereus Achromogenes*; 2 – *Cinereus Chromogenes*; 3 – *Cinereus Violaceus*; 4 – *Helvolo-Flavus Helvolus*; 5 – *Albus Albus*; 6 – *Imperfectus*.

актиномицетных комплексов почв под борщевиком, которые отличаются по кислотности и содержанию органического углерода от почв контрольных участков, может свидетельствовать о том, что в корневых экссудатах и/или корневом опаде борщевика присутствуют соединения, привлекательные для представителей этого рода мицелиальных прокариот.

Известно, что в актиномицетных комплексах зональных типов почв количественно преобладают стрептомицеты [22]. По результатам наших исследований, на участках №№ 1 и 3, в отличие от участков №№ 2 и 4, доминировали по относительному обилию представители рода *Micromonospora* (54,2 и 60,0% соответственно), что можно рассматривать как результат подщелачивающего влияния городской среды, а не воздействия на почву борщевика. В более кислых почвах Фалёнского района соотношение олигоспоровых и моноспоровых форм оставалось типичным для большинства зональных типов почв. Олигоспоровые виды, несмотря на высокую частоту встречаемости (от 60 до 100%), были представлены в долевого отношении незначительно (0,7–3,0%), поэтому отнесены к минорным компонентам в комплексе.

В зависимости от географического положения участка и вида растительного сообщества различалась в почвенных комплексах и видовая представленность рода *Streptomyces* (табл. 2). Так, в почвах контрольных участков, не подвергнутых массовому зарастанию борщевиком, видовое разнообразие стрептомицетов, характеризуемое индексом Шеннона, было заметно ниже (1,87±0,14 и 1,54±0,06 бит/г), чем в почвах, отобранных под моносообществами борщевика (2,03±0,15 и 1,84±0,09 бит/г).

Различия актиномицетных комплексов, в зависимости от растительного сообщества, имелись также в долевого участии видов стрептомицетов, принадлежащих отдельным цветовым секциям и сериям. В почвах под моносообществами *H. sosnowskyi* (участки №№ 1 и 3), различающихся по показателям рН и $C_{орг}$, стрептомицетные комплексы были представлены видами пяти, одних и тех же, секций и серий. К числу общих закономерностей можно также отнести то, что в результате инвазии борщевика, по сравнению с контрольными участками, снижалось в структуре комплекса долевого участие представителей серии *Cinereus Achromogenes* на фоне увеличения доли видов серии *Cinereus Chromogenes*.

Заключение

В ходе исследования установлено, что инвазия борщевика изменяет структуру почвенных актиномицетных комплексов. На участках, подверженных инвазии борщевика Сосновского, по сравнению с неинвазированными участками, происходит увеличение родового и видового разнообразия актиномицетной биоты. Отличительной особенностью почв под моносообществами борщевика, по сравнению с контрольными участками, явилось наличие в комплексе представителей рода *Streptosporangium*.

На участках массового роста борщевика, по сравнению с почвами под разнотравными луговыми сообществами, в стрептомицетном комплексе отмечали снижение долевого участия представителей секции и серии *Cinereus Achromogenes* на фоне увеличения доли пиг-

ментированных видов *Cinereus Chromogenes*. Кроме того, на участках массового роста борщевика Сосновского, по сравнению с контрольными участками, отмечено более низкое содержание углерода в почве, что наряду с выявленными изменениями в структуре актиномицетных комплексов, подтверждает факт интенсивной минерализации органического вещества в почвах под борщевиком. Несмотря на значительную надземную биомассу, по окончании вегетации вынос питательных веществ не восполняется растительным опадом борщевика. При длительном сохранении данная тенденция может вести к снижению и даже утрате почвой потенциального плодородия.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-2880.2018.5).

References

- Mack R.N., Simberloff D., Lonsdale W.M., Evans H., Clout M., Bazzaz F.A. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control // *Ecological Applications*. 2010. No. 3. P. 689–710.
- Oduor A.M.O., Leimu R., Kleunen M. Invasive plant species are locally adapted just as frequently and at least as strongly as native plant species // *Journal of Ecology*. 2016. V. 104. No. 4. P. 957–968.
- Van der Putten W.H., Klironomos J.N., Wardle D.A. Microbial ecology of biological invasions // *ISME J*. 2007. V. 1. P. 28–37.
- Van der Putten W.H. Impacts of soil microbial communities on exotic plant invasions // *Trends Ecol. Evol.* 2010. V. 25 (9). P. 512–519.
- Orrock J.L., Dutra H.P., Marquis R.J., Barber N. Apparent competition and native consumers exacerbate the strong competitive effect of an exotic plant species // *Ecology*. 2015. V. 96. No. 4. P. 1052–1061.
- Klironomos J.N. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities // *Nature*. 2002. V. 417. P. 67–70.
- Callaway R.M., Thelen G.C., Rodriguez A., Holber W.E. Soil biota and exotic plants invasion // *Nature*. 2004. V. 427. P. 731–733.
- Parker M.A. Mutualism as a constraint on invasion success for legumes and rhizobia // *Divers. Distrib.* 2001. V. 7. P. 125–136.
- Kowalski K.P., Bacon C., Bickford W., Braun H., Clay K.K., Leduc-Lapierre M., Lillard E., McCormick M.K., Nelson E., Torres M., White J., Wilcox D.A. Advancing the science of microbial symbiosis to support invasive species management: a case study on Phragmites in the Great Lakes // *Frontiers in microbiology*. 2015. V. 6. P. 1–14.
- Bahadori M.B., Dinparast L., Zengin G. The genus *Heracleum*: a comprehensive review on its phytochemistry, pharmacology, and ethnobotanical values as a useful herb // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016. V. 15. No. 6. P. 1018–1039.
- Weryszko-Chmielewska E., Chwil M. Localisation of furanocoumarins in the tissues and on the surface of shoots of *Heracleum sosnowskyi* // *Botany*. 2017. V. 95. No. 11. P. 1057–1070.
- Jaworek A.K., Michalek K., Wojas-Pelc A. Phytophotodermatitis caused by *Heracleum sosnowskyi* with erythema multiforme-like lesions // *Przegląd Dermatologiczny*. 2017. V. 104. No. 1. P. 16–21.
- Luneva N.N. Sosnovski's hogweed in the Russian Federation // *Zashchita i karantin rasteniy*. 2014. No. 3. P. 12–18 (in Russian).
- Afonin A.N., Luneva N.N., Li Yu.S., Kotsareva N.V. Ecological and geographical analysis of the distribution and occurrence of Sosnovski's Hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) in connection with the degree and the environment // *Ekologiya*. 2017. No 1. P. 66–69 (in Russian).
- Baranova O.G., Brelgina E.N. Invasive plant species in three cities of the Udmurt Republic // *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*. 2016. V. 7. No. 1. P. 8–11 (in Russian).
- Sołtysiak J., Brej T., Tomczyk M. Invasion of the Sosnowsky hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) In Siechnice commune (South-western Poland) and prospects of its eradication // *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Wrocławskiego in Wrocław – Biology and Animal Breeding*. 2015. V. 78. No. 610. P. 73–86.
- Mishyna M., Laman N., Prokhorov V., Maninang J.S., Fujii Y. Identification of octanal as plant growth inhibitory volatile compound released from *Heracleum sosnowskyi* fruit // *Natural Product Communications*. 2015. V. 10. No. 5. P. 771–774.
- Synowiec A., Kalemb D. Composition and herbicidal effect of *Heracleum sosnowskyi* essential oil // *Open Life Sciences*. 2015. V. 10. P. 425–432.
- Glushakova A.M., Kachalkin A.V., Chernov I.Y. Soil yeast communities under the aggressive invasion of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) // *Eurasian soil science*. 2015. V. 48. No. 2. P. 201–207.
- Stojanovi V., Petrovi S., Kovaevi J., Stojanovi D., Bjedov I. *Heracleum sosnowskyi* Manden (Apiaceae) – a new invasive species in the flora of Serbia // *Glasnik umarskog fakulteta. Beograd*. 2017. No. 116. P. 215–220.
- Zenova G.M. Soil actinomycetes of rare genera. Moskva: Izd-vo MGU, 2000. 81 p. (in Russian).
- Gauze G.F., Preobrazhenskaya T.P., Sveshnikova M.A., Terekhova L.P., Maksimova T.S. The determinant of actinomycetes. The geni *Streptomyces*, *Streptovercillum*, *Chainia*. Moskva: Nauka, 1983. 248 p. (in Russian).
- The determinant of bacteria Berdzhi. In 2 v. / Eds. Dzh. Khoul't, N. Krig, P. Snit, Dzh. Steyli, S.S. Uillyams. Moskva: Mir, 1997. V. 2. 800 p. (in Russian).
- Zvyagintsev D.G., Zenova G.M. Ecology of actinomycetes. Moskva: GEOS, 2001. 257 p. (in Russian).
- Mineev V.G. Agrochemistry: a textbook. 2 edition, revised and supplemented. Moskva: Izdatelstvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta, Kolos. 720 p. (in Russian).
- Bochkarev D.V., Nikolskiy A.V., Smolin N.V. Transformation of floodplain meadow phytocenosis during the introduction into it of the adventive weed species – *Heracleum sosnowskyi* // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. No. 7. P. 36–40 (in Russian).