



МИКРОБИОЦЕНОЗ СОЛОНЦА КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДЫ ПРИ ЗАМЕНЕ КОРМОВЫХ СЕВООБОРОТОВ СЕЯНЫМ ЛУГОМ

Коробова Л.Н.¹, (✉)Риксен В.С.², Батурина О.А.³

¹Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

³Институт химической биологии и фундаментальной медицины
Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

(✉)e-mail: Riclog@mail.ru

На Барабинской равнине влияние севооборотов с донником и кострцом безостым на солонцы изучается в динамике более 30 лет. Отмечено, что в почве с фитомелиоративными севооборотами общие запасы солей в сравнении с исходной целиной значительно снизились. В слое почвы 0–20 см их количество уменьшилось в 3,8–4,4 раза, в слое 20–40 см – в 4,6–7,7 раза. В результате залужения участков фитомелиоративных севооборотов смесью кострца безостого и люцерны синегридной эффект рассоления снижается (в верхнем слое в среднем на 6,4 и 9,3%, в нижнем – на 24,9% в последствии севооборота с кострцом). Выявленные изменения в засолении почвы нашли отражение в представительстве солеустойчивых и солечувствительных бактерий. Обилие мало переносящих соль представителей класса спартобактерий на залуженном участке после севооборотов с донником и кострцом снизилось в 3,2 и 3,6 раза, а относительно солелюбивых *Cytophagia* увеличилось в 1,6 и 2,4 раза. В сеянном лугу после севооборота с донником отмечено большее количество сложно разлагаемых растительных остатков (преимущественно злаков), о чем свидетельствует возросшее содержание ацидобактерий. У донника, судя по численности родов *Gaiella* из класса *Thermoleophilia* и *Microlunatus* из класса *Actinobacteria*, мелиоративный эффект в отношении рассоления и аэрации солонца среднего больше, чем у кострца. Залужение увеличивает в солонце среднюю активность минерализации и олиготрофность почвы в слое 20–40 см сильнее, чем в слое 0–20 см в 1,6–2,2 раза. Потенциальное микробиологическое гумусонакопление под сеяным лугом уменьшается в верхнем слое участка, ранее занимаемого севооборотом с донником, и в нижнем слое – севооборотом с кострцом.

Ключевые слова: солонец средний, фитомелиорация, кормовые травы, залужение, микробиом, 16S рРНК, биологическая активность почвы

SOLONETZ MICROBIOCENOSIS AS AN INDICATOR OF ENVIRONMENTAL CHANGE WHEN REPLACING FORAGE CROP ROTATIONS WITH SOWN MEADOW

Korobova L.N.¹, (✉)Riksen V.S.², Baturina O.A.³

¹Novosibirsk State Agrarian University
Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

³Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

(✉)e-mail: Riclog@mail.ru

In the Baraba Plain, the influence of crop rotations with sweet clover and awnless brome grass on solonets has been studied in dynamics for more than 30 years. It has been noted that in the soil with

phytomeliorative crop rotations total salt reserves have significantly decreased in comparison with the initial virgin soil. In the 0–20 cm soil layer, their number decreased 3.8–4.4 times, in the 20–40 cm layer – 4.6–7.7 times. As a result of grassing of the phytomeliorative crop rotation plots with a mixture of awnless brome grass and alfalfa blue-hybrid, the effect of desalinization is decreasing (in the upper layer on average by 6.4 and 9.3%, in the lower layer – by 24.9% in the aftermath of the crop rotation with awnless brome grass). The identified changes in the soil salinity have been reflected in the representation of salt-tolerant and salt-sensitive bacteria. The abundance of low salt-tolerant representatives of the class Spartobacteria on the grassed area after crop rotations with sweet clover and brome grass decreased by 3.2 and 3.6 times, and the abundance of the relatively salt-loving *Cytophagia* increased by 1.6 and 2.4 times. In the sown meadow after crop rotation with sweet clover, a higher amount of complexly decomposable plant residues (mainly cereals) was observed, as evidenced by the increased content of acidobacteria. According to the abundance of the genera *Gaiella* from the class Thermoleophilia and *Microtholus* from the class Actinobacteria, the meliorative effect in terms of desalinization and aeration of solonchaks is greater in sweet clover than in brome grass. Grassing increases mineralization activity and oligotrophic soil in solonchak on average in 20–40 cm layer more strongly than in 0–20 cm layer by 1.6–2.2 times. Potential microbiological humus accumulation under sown meadow decreases in the upper layer of the plot previously occupied by the rotation with sweet clover, and in the lower layer – by the rotation with brome grass.

Keywords: medium solonchak, phytomelioration, fodder grasses, grassing, microbiome, 16S rRNA, soil biological activity

Для цитирования: Коробова Л.Н., Риксен В.С., Батурина О.А. Микробиоценоз солончака как индикатор изменения среды при замене кормовых севооборотов сеяным лугом // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 8. С. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-8-1>

For citation: Korobova L.N., Riksen V.S., Baturina O.A. Solonchak microbiocenosis as an indicator of environmental change when replacing forage crop rotations with sown meadow. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 8, pp. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-8-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Солонцовые и солонцеватые участки степной Барабы характеризуются низкой продуктивностью природных угодий¹. Для ее улучшения и создания прочной кормовой базы в 80-х годах XX века учеными разработаны технологии выращивания кормовых трав, включающие набор засухо-, соле- и солонцезоустойчивых одно- и многолетних трав – фитомелиорантов и агротехнические способы улучшения свойств солонцов² [1].

Одно из первых мест в Барабе как фитомелиоранту было отведено доннику, а среди многолетних трав с высокими кормовыми достоинствами – кострцу безостому. В 1987 г.

на солонце среднем Барабы создан стационар Сибирского научно-исследовательского института кормов (СибНИИ кормов), где начали возделывать шестипольные севообороты с донником желтым и кострцом безостым. За три ротации под действием агробиологического метода произошла трансформация свойств солонцов³ [2], сделавшая их пригодными для создания высокопродуктивного долгодлительного лугового агроценоза. В связи с этим часть севооборотной площади искусственно залужили травосмесью кострца безостого и люцерны синегибридной, что было сделано за 13 лет до данных исследований. Это позволило снизить трудозатраты

¹Константинов М.Д., Кучеренко А.М. Сроки и способы залужения солонцов Барабы // Кормопроизводство. 2000. № 4. С. 13–15.

²Константинов М.Д., Кухарь М.А. Улучшение свойств черноземно-луговых мелких солонцов в фитомелиоративных луговых севооборотах Западной Сибири // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2006. №. 6. С. 31–34.

³Константинов М.Д., Ломова Т.Г., Кухарь М.А. Фитомелиоративные луговые севообороты на солонцовых почвах Западной Сибири // Сибирское отделение РАН. 2011. 104 с.

при остающейся высокой урожайности используемых многолетних трав⁴. При этом актуальной стала задача оценки длительности сохранения положительных свойств солонцов, приобретенных под влиянием агробиологического метода мелиорации.

В настоящее время в литературе по этому поводу нет единого мнения. Возможно, что отсутствие послойной обработки почвы в течение ряда лет и генетические особенности солонцов постепенно приведут к возврату характеристик, лимитирующих продуктивность травостоя. Выявить это на ранних стадиях позволяет изучение почвенного микробного сообщества – его биологической активности и биоразнообразия. Чувствительность микрофлоры к малейшим изменениям физического и физико-химического состояния почв доказана во многих научных исследованиях⁵ [3–5]. Это сделало биологическую активность и численность отдельных эколого-трофических групп важным критерием оценки почвенного плодородия и показателем опасности применяемых в сельскохозяйственной практике агрохимикатов⁶.

Изучая микрофлору, можно судить о длительности положительного воздействия на солонец сеяных многолетних трав (залужения) в отсутствие механического разрушения солонцового горизонта и сопутствующего ему улучшения водно-воздушного режима почвы.

Цель исследования – сравнить изменения в ризосферной микрофлоре 13-летнего искусственного луга, лишенного механической обработки почвы, с состоянием микрофлоры в солонце среднем, возделанном с кормовыми севооборотами.

Задачи исследования:

- изучить микробиологическую составляющую солонца среднего;
- определить общее содержание солей в почве.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования стала микрофлора солонца лугового гидроморфного (Gleyic Solonetz Albic.), среднего, средненатриевого, столбчатого с содово-сульфатным типом засоления. Исследования провели на стационаре Сибирского научно-исследовательского института кормов Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИ кормов СФНЦА РАН) в Новосибирской области (55.389° с. ш., 78.927° в. д.). Опыт включал следующие варианты: 1) донник желтый в шестипольном севообороте (донник с покровной культурой суданской травой – донник второго года жизни – овес на зерносеяжке); 2) залужение люцерной с кострцом безостым после севооборота с донником; 3) кострец безостый в шестипольном севообороте (просо – просо + кострец – кострец 4 года); 4) залужение люцерной с кострцом безостым после севооборота с кострцом.

Почвенные образцы отбирали в 2016, 2018, 2019 и 2020 гг. после укоса в I декаде августа из ризосферы слоев 0–20 и 20–40 см. Для сравнения содержания солей почву отбирали также в целине (слои 0–15 и 15–40 см). Для классических микробиологических исследований составляли один смешанный образец, для метагеномного анализа (2020 г.) – четыре смешанных образца. Общее содержание солей в почве определяли с помощью кондуктометра КЛ-С-1 по показателю ЕС (удельной электропроводности) почвенной пасты, разведенной водой в соотношении 1 : 5⁷. Таксономическую принадлежность бактерий выявляли на базе ИХБФМ РАН в ЦКП «Геномика» (г. Новосибирск) методом высокопроизводительного секвенирования последовательностей участка V3–V4 гена

⁴Ломова Т.Г. Трансформация солонцов в плодородные земли // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VI Международной научно-практической конференции, Горно-Алтайск, 8–11 июня 2017 г. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет. 2017. С. 29–33.

⁵Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: издательство СО РАН, 2002. 208 с.

⁶Микробиологические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв сельскохозяйственного назначения. М., 2003. 82 с.

⁷Зайдельман Ф.Р., Смирнова Л.Ф., Шваров А.П., Никифорова А.С. Практикум по курсу «Мелиорация почв». М.: Гриф и К. 2008. 66 с.

16S рРНК. Тотальную ДНК выделяли с помощью набора DNeasy PowerSoil Kit (Qiagen). Для механического разрушения образца использовали TissueLyser II (Qiagen) 10 мин при 30 Гц. Качество ДНК оценивали с помощью электрофореза в 1%-м агарозном геле, количество ДНК – на Quibit (Life Technologies) и на Nanodrop (Thermo Fisher Scientific). Участок V3–V4 гена 16S рРНК амплифицировали с помощью праймеров 343F (5'-CTCCTACGGRSGCAGCAG-3') и 806R (5'-GGACTACNVGGGTWTCTAAT-3'), содержащих адаптерные последовательности (Illumina), линкер и баркод⁸. Условия проведения амплификации и анализа полученных парных последовательностей соответствовали условиям, изложенным в работе [6]. Таксономическая принадлежность последовательностей OTU определялась с помощью SINTAX [7] с использованием 16S RDP training set v16 в качестве референсной базы⁹.

В классических микробиологических исследованиях методом предельных разведений на питательных средах изучали численность микроорганизмов, усваивающих органический азот (МПА), минеральный азот (КАА) и олигонитрофилов (ГА). Повторность посева одного образца – трех- и четырехкратная. Полученные данные статистически обработали, вычислив среднее квадратическое отклонение или НСР.

Используя выявленное обилие бактерий на МПА и КАА, рассчитали коэффициент потенциальной микробиологической трансформации органики в запасы гумуса $P_m = (МПА + КАА) \times (МПА / КАА)^{10}$, коэффициент минерализации $K_{мин.} = КАА / МПА$ и коэффициент олиготрофности $Колиготр. = ГА / МПА$.

Погодные условия в годы исследований существенно различались. Согласно гидротермическому коэффициенту Селянинова 2016 г. относился к увлажненным и теплым (ГТК = 1,01), 2018 г. – к увлажненным и хо-

лодным (ГТК = 1,87), 2019 и 2020 гг. были засушливыми и теплыми (ГТК = 0,74 и 0,65).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фитомелиоративное воздействие трав на солонцы во многом связано с их способностью извлекать из почвы кальций, который при отмирании корней заменяет в почвенно-поглощающем комплексе натрий. При этом в корневой зоне изменяется содержание солей, определяемое в международной практике по показателю ЕС.

Изменение физико-химических свойств трансформированного севооборотами солонца и солонца после длительного залужения по ЕС показано на рис. 1.

Установлено, что в почве с фитомелиоративными севооборотами (с применением агротехнических мероприятий) общие запасы солей за 30 лет в сравнении с исходной целиной значительно снизились. В слое почвы 0–20 см их количество уменьшилось в 3,8–4,4 раза, в слое 20–40 см – в 4,6–7,7 раза. Более резкие отличия от целинного солонца в показателе ЕС в нижнем слое вызваны агробиологической мелиорацией с использованием костреца безостого.

Постсевооборотное залужение части территории с севооборотами, проведенное в 2007 г., несколько снизило эффект рассоления к моменту данных исследований. В слое почвы 0–20 см это проявилось в последствии обоих севооборотов, но сильнее после севооборота с кострецом безостым. Здесь под травосмесью костреца и люцерны солей зарегистрировано больше в среднем на 9,3%. В солонце после донника количество солей на залужении увеличилось на 6,4%. В слое почвы 20–40 см возрастание ЕС отмечено только в последствии севооборота с кострецом (на 24,9%). В варианте с залужением после севооборота с донником сумма солей продолжала снижаться.

⁸Fadrosh D.W., Ma B., Gajer P., Sengamalai N., Ott S., Brotman R.M., Ravel J. An improved dual-indexing approach for multiplexed 16S rRNA gene sequencing on the Illumina MiSeq platform // Microbiome. 2014. 2(1): 6.

⁹Wang Q., Garrity G.M., Tiedje J.M., Cole J.R. Naive Bayesian classifier for rapid assignment of rRNA sequences into the new bacterial taxonomy // Applied and environmental microbiology. 2007. Vol. 73. N 16. P. 5261–5267.

¹⁰Муха В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов // Сборник научных трудов Харьковского СХИ. 1980. Т. 273. С. 13–16.

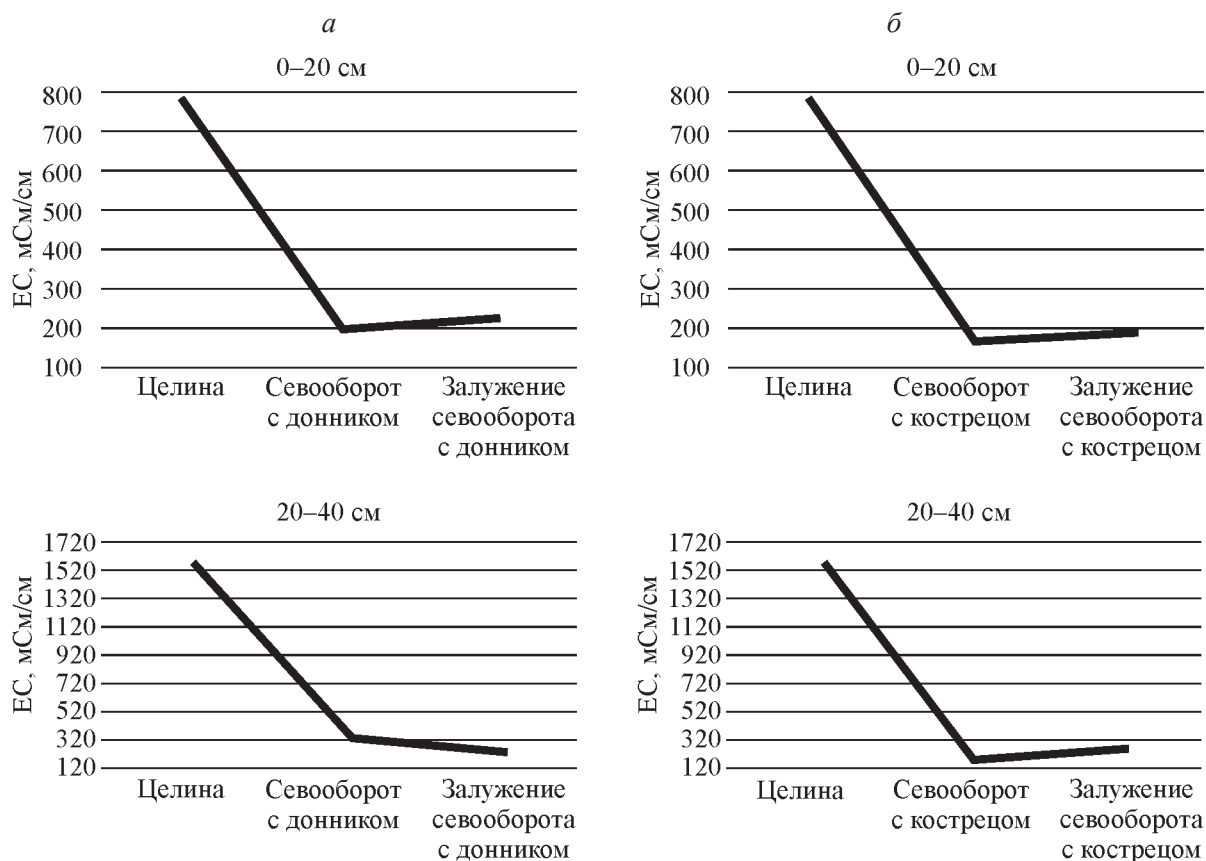


Рис. 1. Изменение содержания солей в солонце луговом гидроморфном среднем под влиянием кормовых севооборотов и их залужения (в среднем за 2018–2020 гг.):

а – севооборот с донником; *б* – севооборот с кострцом (в целине почва отобрана из слоев 0–15 и 15–40 см)

Fig. 1. Changes in the salt content in the medium meadow hydromorphic solonetz under the influence of fodder crop rotations and their grassing (average for 2018–2020):

а – crop rotation with sweet clover; *б* – crop rotation with brome (the soil is sampled from 0–15 and 15–40 cm of virgin soil)

Выявленные изменения в засолении почвы под травосмесью кострца с люцерной в отсутствии механического разрушения солонцового горизонта нашли отражение в представительстве солеустойчивых и солечувствительных бактерий. Секвенирование 16S рРНК ампликонов выявило шесть бактериальных классов, изменившихся в ризосфере растений под влиянием постсевооборотного залужения (см. табл. 1). Эти классы имели, как минимум, 0,1% последовательностей среди четырех изученных вариантов и четырех повторений каждого их них.

Наибольший отклик на залужение обнаружен у классов ацидобактерий из филы *Acidobacteria* и спартобактерий из *Verrucomicrobia*. Содержание ацидобактерий в солонце луга по сравнению с севооборотом с донником увеличилось в 1,5 раза. Они обладают выраженной адаптационной способностью к получению питательных веществ из сложных органических субстратов¹¹. В нашем случае – из остатков злаков после отмирания злаково-бобовой растительности луга, которых в севообороте суданка + донник – донник второго года жизни – овес было

¹¹Ward N.L., Challacombe J.F., Janssen P.H., Henrissat B., Coutinho P.M., Wu M., Kuske C.R. Three genomes from the phylum Acidobacteria provide insight into the lifestyles of these microorganisms in soils // Appl. Environ. Microbiol. 2009. Vol. 75 (7). P. 2046–2056.

Табл. 1. Относительное обилие классов бактерий, регулируемых постсевооборотным залужением в агрогенно измененном солонце среднем (слой почвы 0–20 см)

Table 1. Relative abundance of bacterial classes regulated by post-rotation grassing in agrogenerically modified medium solonetz (soil layer 0–20 cm)

Класс	Севооборот с донником	Последствие севооборота с донником	Севооборот с кострецом	Последствие севооборота с кострецом
<i>Acidobacteria</i>	28,1 ± 1,1	42,0 ± 0,8	36,6 ± 1,9	41,3 ± 1,8
<i>Spartobacteria</i>	9,3 ± 1,8	2,6 ± 0,8	13,9 ± 1,3	4,3 ± 0,9
<i>Thermoleophilia</i>	4,2 ± 0,4	6,0 ± 0,3	2,4 ± 0,3	4,9 ± 0,2
<i>Gemmatimonadetes</i>	4,5 ± 0,5	2,1 ± 0,4	3,3 ± 0,2	2,1 ± 0,2
<i>Blastocatellia</i>	3,9 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,9 ± 0,2	1,2 ± 0,2
<i>Cytophagia</i>	0,2 ± 0,04	0,32 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,28 ± 0,07

гораздо меньше. В солонце луга после севооборота с кострецом ацидобактерий стало больше только на 11%, что тоже свидетельствует в пользу объяснения увеличения ацидобактерий на залужении.

Снижение в 3,2–3,6 раза под сеяным лугом численности почвенных *Spartobacteria* свидетельствует об увеличении солонцеватости почвы относительно трансформированного кормовыми севооборотами солонца. Спартобактерии имеют ярко выраженную непереносимость соли [8], такие условия почвенной среды складываются на залужении, что препятствует размножению данных бактерий.

Вторичное засоление идет слабее в солонце, трансформированном севооборотом с донником и затем залуженном, чем на залужении после севооборота с кострецом (см. рис. 1). Об этом же свидетельствует представительство *Cytophagia*. Известно, что эти бактерии положительно и тесно связаны с катионами почвы, а также с уровнем содержания в ней солей [9]. В нашем случае на участке сеяного луга обилие ризосферных *Cytophagia* после севооборота с донником увеличилось только в 1,6 раза, а после севооборота с кострецом – в 2,4 раза (что коррелирует с увеличением значений ЕС на 6,4 и 9,3%).

При возрастающем содержании солей в залуженном солонце становятся лучше кислотно-щелочные условия и теряется излишняя

влага. Индикатором этих изменений можно считать сниженное представительство классов бластокателлий из филы *Acidobacteria* [10] и *Gemmatimonadetes* из одноименного фила¹². Однако улучшение кислотно-щелочного баланса и аэрации, судя по численности данных индикаторных микроорганизмов, более характерно для участка постсевооборотного залужения с донником.

Нагляднее иллюстрировать возвратные изменения под травосмесью луга (без механических обработок) относительно почвы, занятой кормовыми севооборотами, позволяет рассмотрение филы *Actinobacteria*. Фила входит в тройку доминирующих в микробиоме и является индикатором условий влажности¹³, аэрации и засоления почвы.

В составе филы нами выделено 10 родов, наиболее заметно различающихся по относительной численности между изучаемыми вариантами (см. рис. 2).

Установлено, что наибольший вклад в измененную залужением численность актинобактерий вносят роды *Gaiella* из класса *Thermoleophilia* и *Microlunatus* из класса *Actinobacteria*. Их обилие на залужении возрастает соответственно в 2,1 и 4,5 раза и в 2,0 и 3,9 раза (см. рис. 2, а и б). Больше бактерий *Gaiella* выявлено в солонце среднем, занятом донником, и в его последствии. Так как *Gaiella* чувствительны к наличию

¹² DeBruyn J., Nixon L., Fawaz M., Johnson M., Radosevich M. Global Biogeography and Quantitative Season Dynamics of Gemmatimonadetes in Soil // Appl. Environ. Microbiol. 2011. Vol. 77. N 17. P. 6295–6300.

¹³ Chirak E.L., Pershina E.V., Dol'nik A.S., Kutovaya O.V., Vasilenko E.S., Kogut B.M., Merzlyakova Ya.V., Andronov E.E. Taxonomic structure of microbial association in different soils investigated by high-throughput sequencing of 16s-rna gene library // Agricultural Biology. 2013. N 3. P. 100–109.

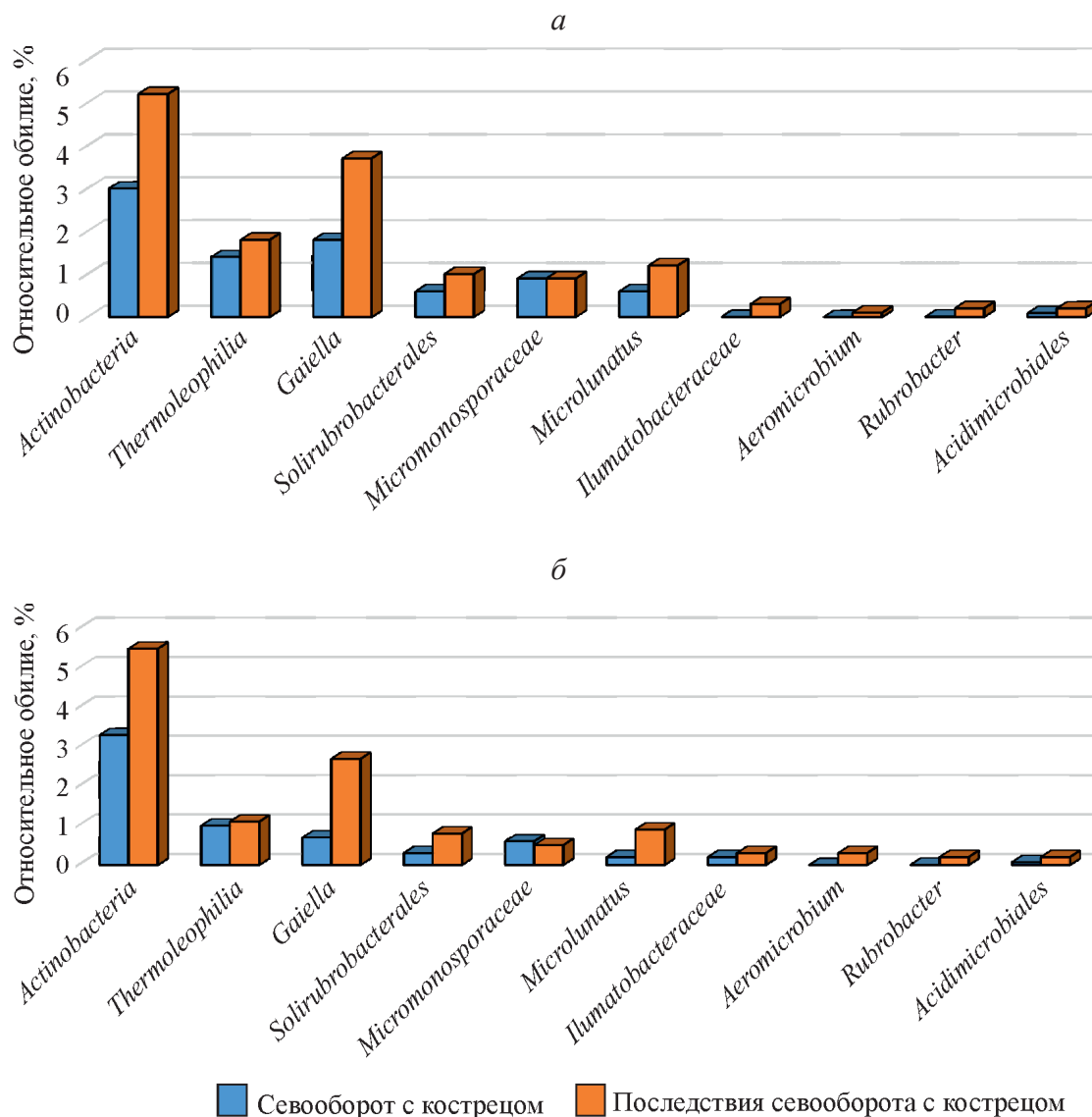


Рис. 2. Разнообразие фила *Actinobacteria* и представительство ее родов в солонце среднем под севооборотами и на залужении (слой 0–20 см):

а – влияние севооборота с донником, *б* – влияние севооборота с кострцом

Fig. 2. Diversity of the phylum *Actinobacteria* and the representation of its genera in the medium solonetz under crop rotations and on grassing (layer 0–20 cm):

а – the effect of the crop rotation with sweet clover, *б* – the effect of the crop rotation with brome

натрия¹⁴, можно утверждать, что у донника мелиоративный эффект в отношении рассоления почвы больше, чем у костреца. Сильнее, чем кострец, донник также рыхлит почву. Индикатором лучшего режима аэрации является численность актинобактерий из рода *Microlunatus*. Он относится к порядку *Propionibacteriales*, отличающемуся толерантностью к низким концентрациям кислорода или полной анаэробностью. Увели-

чение в агрогенном солонце на залужении таких представителей из этого семейства, как *Microlunatus* и *Aeromicrobium*, свидетельствует о меньшем содержании кислорода в сеяном лугу по сравнению с кормовыми севооборотами, где есть обработка почвы, и особенно в последствии костреца.

Микрофлора почвы является не только индикаторным показателем плодородия почвы, но и сама участвует в его создании. Показате-

¹⁴Albuquerque, L., da Costa, M. S. The family gaiellaceae // The prokaryotes. 2014. P. 357–360.

лями оптимизации потенциального почвенного плодородия принято считать увеличение запасов органического вещества в почве (гумусообразование), оптимизации эффективного плодородия – скорость минерализации органических остатков. Оба процесса связаны с микробиологической деятельностью, а уровень ее участия в первом приближении отражают Пм и Кмин.

Данные по активности минерализации свидетельствуют, что в солонце среднем на залужении разложение органических веществ в почвенном слое 0–20 см шло активнее, чем под севооборотами, в 1,5–2,6 раза (см. табл. 2). Это соотносится с изменением обилия класса ацидобактерий – гидролитиков органики – в залуженных вариантах (см. табл. 1).

Альтернативой снижению активности минерализации является гумусонакопление. Именно из-за сниженной минерализационной активности возделывание трав-фитомелиорантов в севооборотах способствовало микробиологической трансформации растительных остатков в органическое вещество почвы. В варианте «севооборот с донником» потенциальное микробиологическое гумусообразование (Пм) превосходило вариант с залужением в 2 раза, в варианте «севооборот с кострцом» в слое почвы 0–20 см было на уровне сеяного луга.

Следует отметить, что верхний слой среднего солонца под злаково-бобовой смесью на сеяном лугу обильнее заселен олиготрофными микробами: их больше по сравнению с севооборотами в 1,7 и 2,6 раза. Олиготрофилы присутствуют только в средах с остаточным количеством азота. Это значит, что под севооборотами преобладала копиотрофная почвенная микрофлора, обитающая в богатых питанием почвах. В пользу такого вывода свидетельствует меньшая встречаемость здесь бактерий олиготрофного класса *Thermoleophilia* (см. табл. 1) [11].

Выявленные в слое фитомелиорированного солонца 0–20 см закономерности в изменении микробиологических процессов проявились и в слое 20–40 см. Но здесь отличия севооборотов от сеяного луга были сильнее. Разница в коэффициентах минерализации между залуженным участком и севооборотом с донником достигла 3,2 раза, в коэффициенте олиготрофности – 3,1 раза. Потенциальное гумусонакопление (Пм) в слое почвы 20–40 см соответствовало слою 0–20 см.

Разница в минерализационной активности между залуженным участком и севооборотом с кострцом в нижнем слое увеличилась до 5,8 раза, в олиготрофности почвы – до 4,1 раза. В отличие от верхнего слоя солонца среднего в слое 20–40 см между залуже-

Табл. 2. Изменение активности микрофлоры в солонце среднем, залуженном после кормовых севооборотов, относительно занятого севооборотами (среднее за 4 года исследований, слои почвы 0–20 и 20–40 см)

Table 2. Changes in the activity of microflora in the medium solonetz, grassed after fodder crop rotations, relative to those occupied by crop rotations (average over 4 years of research, layers 0–20 and 20–40 cm)

Показатель	Севооборот с донником	Последствие севооборота с донником	Севооборот с кострцом	Последствие севооборота с кострцом
<i>Слой почвы 0–20 см</i>				
Кминерализации	3,7	9,5*	6,4	9,6*
Пм**	7,1	3,5*	6,3	5,6
Колиготрофности	0,5	1,3*	1,1	1,9*
<i>Слой почвы 20–40 см</i>				
Кминерализации	1,4	4,5*	1,2	6,9*
Пм**	22,3	12,5*	30,7	12,6*
Колиготрофности	4,3	13,5*	8,7	35,8*

* $p_{0,05}$ по сравнению с вариантами с севооборотами.

**Пм – коэффициент потенциальной микробиологической трансформации органики в запасы гумуса.

нием и севооборотом с кострцом появились различия в показателе потенциального микробиологического гумусонакопления – Пм уменьшился в 2,4 раза.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что возделывание в течение 30 лет фитомелиоративных севооборотов с донником и кострцом существенно снижает в солонце средние общие запасы солей в сравнении с целиной: в слое почвы 0–20 см в 3,8 и 4,4 раза, в слое 20–40 см в 4,6 и 7,7 раза. Более резкие отличия в показателе ЕС в нижнем слое вызваны возделыванием кострца безостого.

2. Постсевооборотное залужение травосмесью кострца и люцерны уменьшает эффект рассоления в измененном севооборотах солонце. В слое почвы 0–20 см за 13 лет ЕС увеличивается на 6,4% на участке сеяного луга после севооборота с донником и на 9,3% – после севооборота с кострцом. В слое почвы 20–40 см возрастание ЕС отмечено только в последствии севооборота с кострцом (+24,9%).

3. Индикатором увеличения солонцеватости исходного, трансформированного кормовыми севооборотами, солонца под сеяным лугом стали классы бактерий *Spartobacteria* и *Cytophagia*. Обилие мало переносящих соль спартобактерий на залуженном участке снизилось в 3,2 и 3,6 раза, а относительно солелюбивых *Cytophagia* увеличилось в 1,6 и 2,4 раза после севооборотов с донником и кострцом соответственно.

4. У донника, судя по численности *Gaiella* из класса *Thermoleophilia* и *Microtholus* из класса *Actinobacteria*, мелиоративный эффект в отношении рассоления и аэрации почвы больше, чем у кострца.

5. В сеяном лугу после севооборота с донником становится больше сложно разлагаемых растительных остатков (преимущественно злаков), о чем свидетельствует содержание ацидобактерий. Оно увеличивается по сравнению с донниковым севооборотом в 1,5 раза, а с севооборотом с кострцом на 11%.

6. Залужение увеличивает в солонце среднюю активность минерализации и олиготрофность почвы. Эти изменения характерны для

слоев почвы 0–20 и 20–40 см, но в 1,6–2,2 раза сильнее проявляются в нижнем слое почвы. На залужении снижается потенциальное микробиологическое гумусонакопление. На участке после севооборота с донником это проявляется в слое солонца 0–20 см, после севооборота с кострцом – в слое 20–40 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семендяева Н.В., Ломова Т.Г., Утенков Г.Л. Научное обеспечение сельскохозяйственного освоения солонцовых почв юга Западной Сибири за период с 1969 по 2014 г. // Вестник НГАУ. 2015. № 1. С. 7–22.
2. Ломова Т.Г., Коробова Л.Н. Фитомелиоративное окультуривание солонцов Барабы и его влияние на биологическую активность почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 1. С. 12–18.
3. Пуртова Л.Н., Киселева И.В. Влияние фитомелиорации на показатели плодородия и интегральное отражение агрогенных почв Приморья // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2019. № 1 (203). С. 51–57. DOI: 10.25808/08697698.2019.203.1.006.
4. Gao W., Xu J., Zhao J., Zhang H., Ni Y., Zhao B., Tebbe C., Zhang J., Jia Z. Prokaryotic community assembly after 40 years of soda solonch restoration by natural grassland and reclaimed farmland // European Journal of Soil Biology. 2020. Vol. 100. P. 103213.
5. Коробова Л.Н., Риксен В.С. Залужение как экологический фактор трансформации солонца и его микрофлоры // Принципы экологии. 2022. № 2 (44). С. 58–67.
6. Naumova N.B., Belanov I.P., Alikina T.Y., Kabilov M.R. Undisturbed Soil Pedon under Birch Forest: Characterization of Microbiome in Genetic Horizons // Soil Systems. 2021. Vol. 5 (1). P. 14.
7. Edgar R. C. SINTAX: a simple non-Bayesian taxonomy classifier for 16S and ITS sequences // Biorxiv. 2016. P. 074161.
8. Johnson W.H., Douglas M.R., Lewis J.A., Stuecker T.N., Carbonero F.G., Austin B.J., Douglas M.E. Do biofilm communities respond to the chemical signatures of fracking? A test involving streams in North-central Arkansas // BMC microbiology. 2017. Vol. 17. P. 1–12.
9. Szymańska S., Borruso L., Brusetti L., Hulisz P., Furtado B., Hryniewicz K. Bacterial microbi-

- ome of root-associated endophytes of *Salicornia europaea* in correspondence to different levels of salinity // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25 (25). P. 25420–25431.
10. Huber K.J., Vieira S., Sikorski J., Wüst P.K., Fösel B.U., Groengroeft A., Overmann J. Differential response of *Acidobacteria* to water content, soil type, and land use during an extended drought in African savannah soils // *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. P. 247.
 11. Sun Q., Guo S., Wang R., Song J. Responses of bacterial communities and their carbon dynamics to subsoil exposure on the Loess Plateau // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 756. P. 144146.
- ## REFERENCES
1. Semendyaeva N.V., Lomova T.G., Utenkov G.L. Scientific grounds of agricultural alkaline soil development in the south of Western Siberia from 1969 to 2014. *Vestnik NSAU = Bulletin of NSAU*, 2015, no. 1, pp. 7–22. (In Russian).
 2. Lomova T. G., Korobova L. N. Phyto-reclamation domestication of solonchaks soils of Baraba and its effect on the biological activity of soil. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2015, no. 1, pp. 12–18. (In Russian).
 3. Purtova L.N., Kiseleva I.V. Influence of phytomelioration on fertility indicators and integral reflection of agrogenic soils of Primorye. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences*, 2019, no. 1 (203), pp. 51–57. (In Russian). DOI: 10.25808/08697698.2019.203.1.006.
 4. Gao W., Xu J., Zhao J., Zhang H., Ni Y., Zhao B., Tebbe C., Zhang J., Jia Z. Prokaryotic community assembly after 40 years of soda solonchak restoration by natural grassland and reclaimed farmland. *European Journal of Soil Biology*, 2020, vol. 100, p. 103213.
 5. Korobova L.N., Riksen V.S. Grassing as an ecological factor in the transformation of solonchak and its microflora. *Printsiipy ekologii = Principles of the Ecology*, 2022, no. 2 (44), pp. 58–67. (In Russian).
 6. Naumova N.B., Belanov I.P., Alikina T.Y., Kabilov M.R. Undisturbed Soil Pedon under Birch Forest: Characterization of Microbiome in Genetic Horizons. *Soil Systems*, 2021, vol. 5 (1), p. 14.
 7. Edgar R. C. SINTAX: a simple non-Bayesian taxonomy classifier for 16S and ITS sequences, *Biorxiv*, 2016, p. 074161.
 8. Johnson W.H., Douglas M.R., Lewis J.A., Stuecker T.N., Carbonero F.G., Austin B.J., Douglas M.E. Do biofilm communities respond to the chemical signatures of fracking? A test involving streams in North-central Arkansas. *BMC microbiology*, 2017, vol. 17, pp. 1–12.
 9. Szymańska S., Borruso L., Brusetti L., Hulisz P., Furtado B., Hryniewicz K. Bacterial microbiome of root-associated endophytes of *Salicornia europaea* in correspondence to different levels of salinity. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25 (25), pp. 25420–25431.
 10. Huber K.J., Vieira S., Sikorski J., Wüst P.K., Fösel B.U., Groengroeft A., Overmann J. Differential response of *Acidobacteria* to water content, soil type, and land use during an extended drought in African savannah soils. *Frontiers in Microbiology*, 2022, vol. 13, p. 247.
 11. Sun Q., Guo S., Wang R., Song J. Responses of bacterial communities and their carbon dynamics to subsoil exposure on the Loess Plateau. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 756, p. 144146.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коробова Л.Н., доктор биологических наук, профессор

✉ **Риксен В.С.**, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: Riclog@mail.ru

Батурина О.А., младший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

Larisa N. Korobova, Doctor of Science in Biology, Professor

✉ **Vera S. Riksen**, Junior Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: Riclog@mail.ru

Olga A. Baturina, Junior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 06.07.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 05.08.2023
Дата публикации / Published 20.09.2023