



**Издатель**

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

**ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ**

<http://ecopri.ru>

**№ 2 (44). Июнь, 2022**

**Главный редактор**

А. В. Коросов

**Редакционный совет**

В. Н. Большаков  
А. В. Воронин  
Э. В. Ивантер  
Н. Н. Немова  
Г. С. Розенберг  
А. Ф. Титов  
Г. С. Антипина  
В. В. Вапиров  
А. М. Макаров

**Редакционная коллегия**

Т. О. Волкова  
Е. П. Иешко  
В. А. Илюха  
Н. М. Калинкина  
J. P. Kurhinen  
А. Ю. Мейгал  
J. B. Jakovlev  
B. Krasnov  
A. Gugotek  
В. К. Шитиков  
В. Н. Якимов

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
Е. В. Голубев  
С. Л. Смирнова  
Н. Д. Чернышева  
М. Л. Киреева

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: [ecopri@psu.karelia.ru](mailto:ecopri@psu.karelia.ru)

<http://ecopri.ru>





УДК 57.047: 631.461: 633.2.03: 631.445.53

# ЗАЛУЖЕНИЕ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ СОЛОНЦА И ЕГО МИКРОФЛОРЫ

**КОРОБОВА**  
Лариса Николаевна

*доктор биологических наук, Новосибирский государственный аграрный университет, [lnkorobova@mail.ru](mailto:lnkorobova@mail.ru)*

**РИКСЕН**  
Вера Сергеевна

*Новосибирский государственный аграрный университет, [Riclog@mail.ru](mailto:Riclog@mail.ru)*

**Ключевые слова:**  
солонец мелкий  
фитомелиорация  
залужение  
микроорганизмы  
почвы  
16S r-РНК

**Аннотация:** Одной из глобальных экологических проблем является засоление почв, в т. ч. вторичное, охватывающее в наземных экосистемах около 950 млн га. В Западной Сибири примерно 40 % территории представлено солонцовыми почвами, и их полноценное использование связано с гипсованием (что затратно) или длительной мелиорацией травами. Травы-фитомелиоранты не только в разы продуктивнее естественных лугов, но и обладают рассоляющим эффектом. Для повышения урожайности кормовых культур на солонцовых землях специалистами Сибирского научно-исследовательского института кормов в 80-е годы прошлого столетия были разработаны фитомелиоративные севообороты. В статье рассмотрено влияние залужения кормовых севооборотов смесью коостреца (*Bromus inermis* Leyss.) и люцерны (*Medicago varia* Mart.) в течение 13 лет на микрофлору солонцов луговых (гидроморфных) (Gleyic Solonetz Albic). Постсевооборотное залужение привело к улучшению водно-воздушного режима солонцов, а также к существенному рассолению верхнего горизонта почвы и снижению его щелочности. Длительное возделывание кормовых севооборотов и последующее залужение сформировали специфичный почвенный микробиоценоз, отличающийся таксономическим разнообразием микроорганизмов и большей долей копиотрофов в доминирующих филах, что косвенно свидетельствует о возрастании содержания углерода и доступного растениям азота в фитомелиорируемом солонце.

© Петрозаводский государственный университет

**Получена:** 23 февраля 2021 года

**Подписана к печати:** 05 июля 2022 года

## Введение

Условия почвенной среды играют приоритетную экологическую роль в жизни и разнообразии почвенных микроорганизмов, что ярко проявляется в интразональных почвах с четко выраженными лимитирующими факторами. В засоленных почвах ими являются щелочная реакция среды, накопление водорастворимых солей (натрия в солонцах более 15 % от суммы обменных катионов), большая плотность, малая водопроницаемость (Семендяева, 2002). Все это формирует специфический микробный ценоз и силь-

но ограничивает продуктивность растений. Сельскохозяйственное использование таких почв связано с их преобразованием с помощью гипса или длительной мелиорацией травами. Эти приемы рассоляют солонец, трансформируют его биологические свойства (Елизаров и др., 2019; Semendyaeva et al., 2014) и в конечном итоге в разы увеличивают массу трав. Длительное использование фитомелиорантов экономически предпочтительнее, чем разовое внесение гипса. На солонцах Барабинской низменности Сибири, площадь которых составляет 3686 тыс. га,

солотолерантные травы-мелиоранты рекомендовано возделывать в кормовых севооборотах (Константинов, Кучеренко, 2000). Это позволяет сочетать положительный эффект воздействия на почву самой культуры с воздействием механической обработки (агробиологический метод мелиорации). При относительно невысоких концентрациях солей на засоленной почве рекомендовано залужение бобовыми и злаковыми травами (Константинов, Кучеренко, 2000; Суюндуков и др., 2007). Такой подход возможен не только на интразональных почвах, но и на вторично засоленных пахотных землях, которых сегодня насчитывается 950 млн га (Gao, 2020).

Влияние характера растительности на сообщество микроорганизмов прикорневой зоны (ризосферы) изучено в большом количестве исследований. Наиболее полно микробиом (культивируемые и некультивируемые формы микроорганизмов) был охарактеризован с появлением метода высокопроизводительного секвенирования и метагеномики (Handelsman, 2004; Gottel et al., 2011; Knief et al., 2012; Mendes et al., 2014). Было показано, что изменения в составе ризосферного микробиома связаны главным образом с видом растительности, а фактор почвы является следующим по силе воздействия (Girvan et al., 2003; Berg et al., 2009). Микробиом изучался под однодольными и двудольными растениями (Coleman-Derr et al., 2016). Под последними повышенное представительство в микробиоценозе было отмечено у филлумов *Actinobacteria* (семейство *Streptomicetaceae*) и *Proteobacteria* (*Pseudomonadaceae*), под однодольными растениями – у *Bacteroidetes* и *Rhizobiales* (Bulgarelli et al., 2015).

В Барабинской низменности Западной Сибири влияние севооборотов с многолетником кострцом безостым (однодольное растение) и двулетником донником (двудольное) на солонцы изучается в динамике более 30 лет. Направление трансформации микрофлоры солонцов в первые 20 лет возделывания кормовых севооборотов показано в работе Т. Г. Ломовой, Л. Н. Коробовой (2015). Дальнейшие изменения в микробиоценозе под воздействием севооборотов отражены в работах Л. Н. Коробовой (2018), В. С. Риксен, Л. Н. Коробовой (2021а) и В. С. Риксен с соавторами (2021б). Но совершенно неизученным остался вопрос о том, что происходит с почвенной микрофлорой трансформированного севооборотами со-

лонца после того, как, отказавшись от его механического рыхления, часть севооборотной площади залужили, т. е. оставили воздействие на почву только трав-мелиорантов.

Цель данной работы – показать изменения в микрофлоре солонца мелкого и содержании солей, произошедшие за 13 лет залужения почвы травосмесью кострца и люцерны после разных кормовых севооборотов.

## Материалы

Исследования провели в Чановском районе Новосибирской области на стационаре СибНИИ кормов СФНЦА РАН (55.389° с. ш., 78.927° в. д.). Природно-климатическая зона – лесостепь Центрально-Барабинской низменности, отличающаяся умеренно-холодной зимой и теплым, в отдельные дни жарким летом со средним коэффициентом увлажнения 0.67. Рельеф опытного участка равнинный. В естественно-луговых фитоценозах произрастают кермек Гмелина, бескильница, полынь азотистая, волоснец солончаковый и луговое разнотравье (Вагина, 1962).

Объекты исследования:

- бактериальный комплекс солонцов;
- солонец мелкий целины (солонец луговой гидроморфный; WRB, 2006, Gleyic Solonetz Albic.), высокостолбчатый среденатриевый содово-сульфатного типа засоления, тяжелого гранулометрического состава;
- солонец мелкий, залуженный кострцом и люцерной в течение 13 лет; травосмесь посеяна после 20-летнего возделывания севооборотов. Химические характеристики измененного травосеянием солонца приведены в работе Н. В. Елизарова с соавторами (2019).

Микрофлору изучали в вариантах: 1) целина; 2) залужение после севооборота с донником; 3) залужение после севооборота с кострцом.

Севообороты в солонцовом стационаре были представлены 6 полями. Севооборот с донником: 1-е поле – донник 1-го года жизни с покровной культурой суданской травой; 2-е поле – донник 2-го года жизни; 3-е поле – овес на зерносеяжке; 4–6-е поля – повторение 1–3-го. Севооборот с кострцом безостым: 1-е поле – просо; 2-е поле – кострец безостый с покровной культурой просом; 3–6-е поля – кострец безостый.

В севооборотах и на залужении сотрудниками СибНИИ кормов высевались донник желтый сорта Альшеевский, кострец без-

остый сорта СибНИИСХоз 189, люцерна синегрибридная сорта Омская 8893. Обработка почвы в севооборотах – послойное фрезирование на глубину 8–10 см либо дискование тяжелыми боронами раз за ротацию, а затем безотвальное рыхление стойками СибИМЭ до 30–35 см. На залужении обработка почвы отсутствует.

Почвенные образцы отбирали в первой декаде августа в 2016, 2018–2020 гг. из слоя 0–20 см (в целине 0–15) на нечетных делянках стационара площадью 200 м<sup>2</sup> в 10 повторениях с каждой делянки по диагональной трансекте. Для классических микробиологических исследований составляли один смешанный образец, для метагеномного анализа в 2020 г. четыре смешанных образца.

## Методы

Общее содержание солей в почве определялось с помощью кондуктометра КЛ-С-1 по удельной электропроводности почвенной пасты (УЭП), разведенной водой в соотношении 1:5.

Таксономическую принадлежность бактерий выявляли в образцах 2020 г. на базе ИХБФМ РАН в ЦКП «Геномика» (г. Новосибирск) методом высокопроизводительного секвенирования последовательностей участка V3–V4 гена 16S рРНК. Тотальная ДНК из образцов была выделена с помощью набора DNeasy PowerSoil Kit (Qiagen). Пробы секвенировались на приборе MiSeq (Illumina, США), последовательности OTU отнесены к таксонам с помощью SINTAX (Edgar, 2016). Повторность анализа почвенных образцов – четырехкратная.

Статистическая значимость различий в представительстве таксонов и индек-

сах разнообразия (анализировали Usearch v11.0.667) по вариантам доказывалась с помощью U-критерия Манна – Уитни.

В классических микробиологических исследованиях на плотных питательных средах методом предельных разведений изучали численность микроорганизмов, усваивающих органический (МПА) и минеральный азот (КАА), и олигонитрофилов (ГА). Повторность посева на 1 питательную среду – 3 чашки на смешанный образец.

На основании полученных данных рассчитывали коэффициент минерализации (КАА/МПА) и олиготрофности (ГА/МПА).

## Результаты

Метагеномное исследование микробиома показало, что фитомелиорация солонца (включающая 20-летнее возделывание кормовых севооборотов и последующее тринадцатилетнее залужение кострцом и люцерной) на биоразнообразии бактерий повлияла в разных таксонах по-разному (табл. 1). Разнообразие филумов в фитомелиорируемом солонце возросло: на залужении после севооборота с кострцом на 18 %, после севооборота с донником на 11.1 %. В остальных таксонах изменения на залужении не были однонаправленными и больше были связаны с видом трав, возделываемых ранее в севообороте, чем с влиянием позже посеянной травосмеси. Так, в варианте «залужение после севооборота с донником» выявился 361 бактериальный род из 197 семейств, в то время как в целине их было меньше на 9.1 %. При залужении после севооборота с кострцом родовой состав бактерий оказался на 8.5 % менее представительным, чем в целине, и они относились к 181 семейству.

Таблица 1. Таксономическое представительство в микробиомах целинного и фитомелиорированного травянистого солонца мелкого

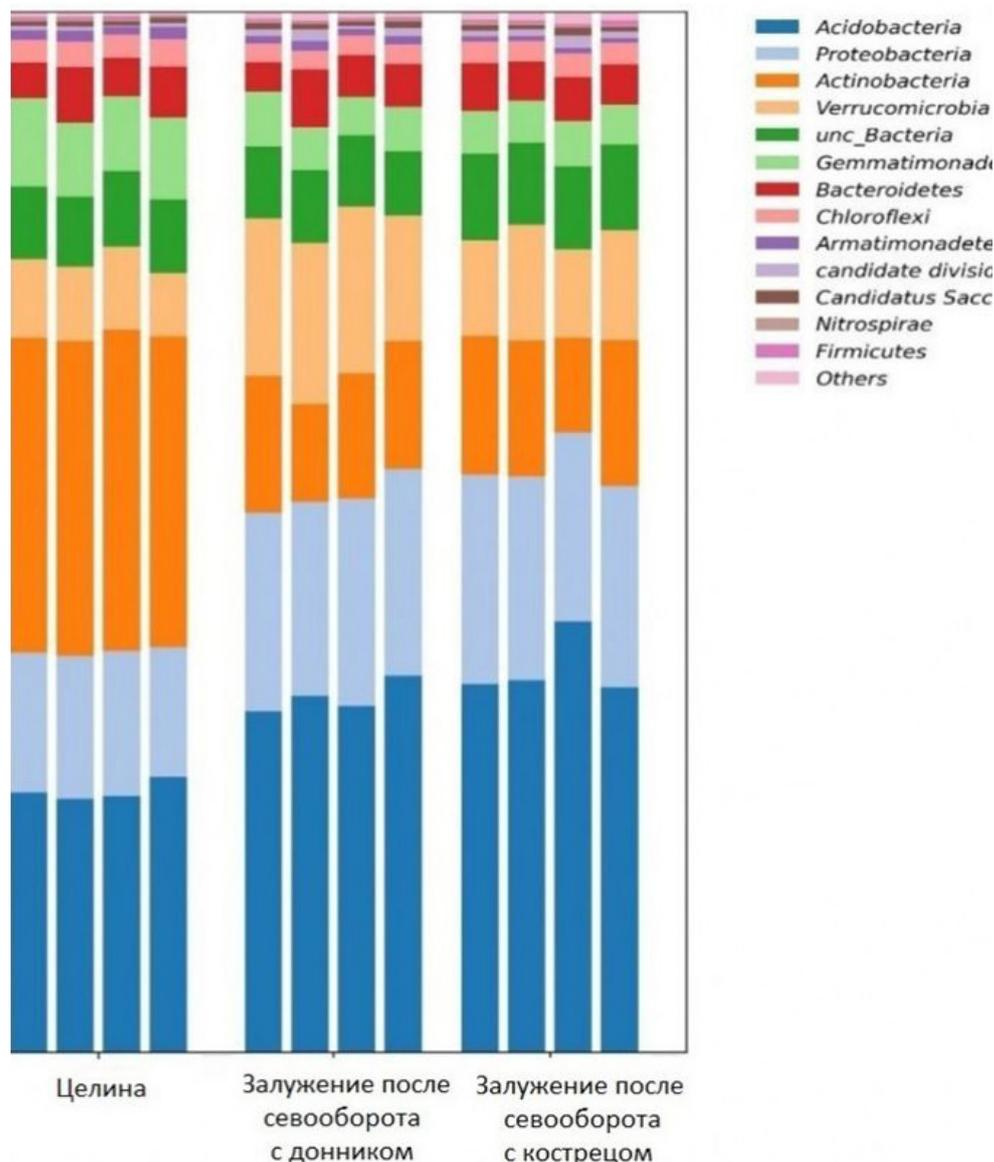
Таксон	Вариант		
	Целина	Залужение после севооборота с донником	Залужение после севооборота с кострцом
Phylum	18	20	22
Class	66	62	60
Order	113	109	100
Family	191	197	181
Genus	331	361	303

Среди домена *Bacteria* везде доминировали 14 филумов: *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Proteobacteria*, бактерии, выделенные как *unc\_Bacteria*, *Verrucomicrobia*,

*Gemmatimonadetes*, *Bacteroidetes* и др. (рисунки). Долевое присутствие их в целинном и трансформированном травянистом солонце различалось, что показано для каждого из

четырёх повторений изучаемых вариантов на рисунке. В целине максимально распространёнными оказались микроорганизмы филума *Actinobacteria*, представительство которых составило 30.3 % (табл. 2). Вторыми были прокариоты из филума *Acidobacteria*, составляющие до 25.1 % микробиома, третьими *Proteobacteria* (13.2 %). У них долевого

присутствие оказалось ниже, чем у ацидобактерий, в 1.9 раза и в 2.3 раза ниже, чем у актинобактерий. Такое распределение с преобладанием актинобактерий, по-видимому, является характерным для микробиомов засоленных почв, что находит подтверждение в работах N. Fierer с соавторами (2012) и Т. Р. Makhalanyane с соавторами (2015).



Бактериальные типы солонца мелкого на залужении и в целине с долей выше 0.1 % микробиома хотя бы в одном варианте

Bacterial types of small solonchak when grassing and on virgin land with a share above 0.1 % of the microbiome in at least one variant

В микробиоме 5 филумов из 6 наиболее значимых доминантов залуженных участков (т. е. 83.4 %) имели процентное содержание, статистически отличающееся от целины (табл. 2). Филум *unc\_Bacteria* был стабильно одинаков как в целине, так и в каждом варианте залужения.

Находящиеся на 8–10-м месте филы *Bacteroidetes*, *Chloroflexi* и *Candidatus Saccharibacteria* были менее представительными, чем рассмотренные в табл. 2. В микробиомах они составляли 1.5–4.4 %, но каждый из них тоже имел сравнимые доли в целинной и фитомелиорированной почве.

Таблица 2. Процентное представительство доминирующих филумов бактерий в целинном и трансформированном травами солонце мелком

Доминирующий филум	Вариант		
	Целина	Залужение после севооборота с донником	Залужение после севооборота с кострцом
<i>Acidobacteria</i>	25.1 b	34.1 ac	36.9 b
<i>Proteobacteria</i>	13.4 a	19.2 d	19.2 bd
<i>Actinobacteria</i>	30.3 a	11.7 b	12.4 b
unc_ <i>Bacteria</i>	10.5 b	9.3 b	11.3 a
<i>Verrucomicrobia</i>	7.2 a	14.7 b	9.8 d
<i>Gemmatimonadetes</i>	5.8 a	3.1 c	2.5 c

Примечание. Разными буквами обозначены средние значения вариантов, существенно различающиеся между собой при  $p < 0.05$ .

Анализ состава и долевой численности более мелких таксонов, входящих в филумы, позволил выявить характер изменений в солонце, которые произошли под сеянными травами. Установлено, что в трансформированной почве значительно увеличилось число геномных последовательностей из групп Gr 6 и Gr 4 самого многочисленного филума *Acidobacteria*. В варианте «залужение после севооборота с донником» они суммарно стали представлять 22.8 %, в варианте с залужением после севооборота с кострцом – 29.5 %. В почве же целины этих ацидобактерий было гораздо меньше: в 1.9 и 2.4 раза соответственно.

Исследователи домена бактерий нередко связывают численность ацидобактерий

групп Gr 6 и Gr 4 с pH почвенного раствора (Jones et al., 2009; Lin et al., 2019). Доля этих ацидобактерий выше в почвах с низким значением кислотности (pH). Поэтому можно считать, что фитомелиоративный эффект травосеяния на солонце мелком проявился в снижении щелочности почвы. Стоит отметить, что в залуженном солонце произошло и рассоление верхнего горизонта почвы (табл. 3). За 13 лет залужения и 20 лет возделывания фитомелиоративных севооборотов количество солей по показаниям удельной электропроводности (УЭП) в нем снизилось: в 6.8 раза в варианте «залужение после севооборота с донником» и в 7.1 раза в варианте «залужение после севооборота с кострцом».

Таблица 3. Показатели биологической активности и засоленности солонца мелкого при длительном постсевооборотном залужении (среднее за 2016, 2018–2020 гг.)

Показатель	Вариант					
	Целина		Залужение после севооборота с донником		Залужение после севооборота с кострцом	
	среднее	медиана	среднее	медиана	среднее	медиана
Коэффициент минерализации	8.2	9.05	11.5*	5.7	12.8*	5.6
Коэффициент олиготрофности	7.4	3.7	1.1*	1.1	1.7*	1.9
Удельная электропроводность почвенного раствора, мкСм/см (ср. за 2016, 2018, 2020 гг.)	1063		159*		150*	

Примечание. \* –  $p < 0.05$  по сравнению с целиной.

Многолетняя фитомелиорация изменила водно-воздушный режим изученных почв. Индикатором этого факта стала численность бактериального типа *Gemmatimonadetes*. В литературе отмечено, что представитель-

ство их в микробном сообществе всегда выше в условиях недостатка влаги (DeBruyn et al., 2011). В трансформированном фитомелиорантами солонце гемматимонадет стало меньше: в почве с залужением после

севооборота с донником в 1.9 раза, под севооборотом с кострцом в 2.3 раза. Поэтому можно считать, что на фоне длительной фитомелиорации произошло изменение гидротермических свойств почв, которые оказали влияние на их биотическую компоненту.

Многолетнее возделывание трав в севообороте и последующее залужение сопровождались дополнительным поступлением в почву растительной массы, и это повысило содержание в почве углерода и азота. В итоге в трансформированном солонце возросла численность филума протеобактерий, в особенности классов *Betaproteobacteria* (в 1.6–2 раза по сравнению с целиной), *Gamma*proteobacteria (в 1.9–2.1 раза), *Deltaproteobacteria* (в 2.9–3.2 раза по сравнению с целиной). Это копиотрофные микроорганизмы, обладающие высокой метаболической активностью. Функционально они всегда связаны с улучшением почвенного плодородия (Krishna et al., 2020).

Об улучшении почвенного плодородия в трансформированной почве свидетельствует и уменьшение процентного содержания олиготрофов среди первых шести доминирующих филумов. Их представительство в микробном сообществе солонца снизилось на залуженном участке до 48.9 и 51.8 % против 61.2 % в целине. Олиготрофные актинобактерии, ацидобактерии и гемматимонады (Bhattacharyya et al., 2021) вытеснились в почве представителями *Proteobacteria*, которые предпочитают богатую питанием среду обитания.

Преобладание в микробном сообществе целины олиготрофной флоры отмечено нами также с помощью методов классической микробиологии в 2016, 2018–2020

гг. Рассчитанный на основании этих данных коэффициент олиготрофности целинного солонца в среднем оказался выше трансформированной травами почвы в 4.4–6.7 раза (см. табл. 3). При этом в залуженной почве в 1.4–1.6 раза увеличился коэффициент минерализации, что говорит о повышенном содержании азота под сеянными травами. Все вышеперечисленное свидетельствует о функциональных изменениях в сообществе микроорганизмов под действием фитомелиорации.

## Заключение

Длительное возделывание кормовых севооборотов и последующее их залужение стало главным экологическим фактором в преобразовании микробного сообщества целинного солонца мелкого и его свойств. Агробиологическое воздействие и травосеяние кострца с люцерной привели к рассолению верхнего горизонта засоленной почвы и формированию специфичного почвенного метагенома. Он отличается увеличением доли копиотрофов в доминирующих филлах домена бактерий и падением представительства олиготрофов, что косвенно свидетельствует о возрастании в фитомелиорируемом солонце содержания углерода и азота. На основании данных о таксономической структуре микробиома выявили положительные изменения водно-воздушного режима трансформированного травами солонца и снижение его щелочности. Выявленные микробиологические особенности залуженного солонца мелкого способствуют новым знаниям о том, насколько долго сохраняются постсевооборотные изменения под травами при отсутствии механической обработки почвы.

## Библиография

- Вагина Т. А. Луга Барабы. Новосибирск, 1962. Ч. 1. 198 с.
- Елизаров Н. В., Ломова Т. Г., Устинов М. Т., Попов В. В. Действие агробиологической мелиорации на солевой профиль солонцов Восточной Барабы // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2019. № 1. С. 18–25. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-2.
- Константинов М. Д., Кучеренко А. М. Сроки и способы залужения солонцов Барабы // Кормопроизводство. 2000. № 4. С. 13–15.
- Коробова Л. Н. Влияние фитомелиоративных севооборотов на микрофлору мелкого и среднего солонца Барабы // Материалы научно-производственной конференции с международным участием. Тюмень: Гос. аграрный ун-т Северного Зауралья, 2018. С. 425–431.
- 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.
- Муха В. Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов // Сборник трудов Харьковского сельскохозяйственного института. 1980. Т. 273. С. 13–16.
- Риксен В. С., Коробова Л. Н. Биоразнообразии бактерий солонца мелкого через 30 лет фитомелиорации донником // Актуальные вопросы агропромышленного комплекса России и за ру-

- бежом: Материалы всерос. (нац.) науч.-практ. конф. с междунар. участием. Молодёжный: Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2021а. С. 129–134.
- Риксен В. С., Коробова Л. Н., Ломова Т. Г. Изменение микробиома мелкого солонца под действием длительного возделывания донника // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021б. № 10. С. 54–58. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.10.20.
- Семендяева Н. В. Свойства солонцов Западной Сибири и теоретические основы химической мелиорации / Под ред. А. Н. Власенко. Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН, 2002. 157 с.
- Суюндуков Я. Т., Хасанова Р. Ф., Суюндукова М. Б. Фитомелиоративная эффективность многолетних трав на черноземах Зауралья / Под ред. чл.-корр. АН РБ, проф. Ф. Х. Хазиева. Уфа: Гилем, 2007. 132 с.
- Berg G., Smalla K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere // FEMS Microbiol. Ecol. 2009. Vol. 68. P. 1–13. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x.
- Bhattacharyya A., Pablo C. H. D., Mavrodi O. V., Weller D. M., Thomashow L. S., Mavrodi D. V. Rhizosphere plant-microbe interactions under water stress / Eds.: G. M. Gadd, S. Sariaslani // Advances in Applied Microbiology. 2021. Vol. 115. P. 65–113. DOI: 10.1016/bs.aambs.2021.03.001.
- Bulgarelli D., Garrido-Oter R., Munch P. C., Weiman A., Dröge J., Pan Y., McHardy A. C., Schulze-Lefert P. Structure and function of the bacterial root microbiota in wild and domesticated barley // Cell Host Microbe. 2015. Vol. 17. P. 392–403. DOI: 10.1016/j.chom.2015.01.011.
- Coleman-Derr D., Desgarenes D., Fonseca-Garcia C., Gross S., Clingenpeel S., Woyke T., North G., Visel A., Partida-Martinez L. P., Tringe S. G. Plant compartment and biogeography affect microbiome composition in cultivated and native *Agave* species // New Phytol. 2016. Vol. 209. P. 798–811. DOI: 10.1111/nph.13697.
- De Bruyn 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 (17). P. 6295–6300. DOI: 10.1128/AEM.05005-11.
- Edgar R. C. SINTAX, a Simple Non-Bayesian Taxonomy Classifier for 16S and ITS Sequences // bioRxiv preprint. 2016. Vol. 9. P. 074161. DOI: 10.1101/074161.
- Fierer N., Leff J. W., Adams B. J., Nielsen U. N., Bates S. T., Lauber C. L., Owense S., Gilberte J. A., Wall D. H., Caporaso J. G. Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. Vol. 109 (52). P. 21390–21395. DOI: 10.1073/pnas.1215210110.
- Gao W., Xu J., Zhao J., Zhang H., Ni Y., Zhao B., Jia Z. Prokaryotic community assembly after 40 years of soda solonchek restoration by natural grassland and reclaimed farmland // European Journal of Soil Biology. 2020. Vol. 100. P. 103213.
- Girvan M. S., Bullimore J., Pretty J. N., Osborn A. M., Ball A. S. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils // Appl. Environ. Microbiol. 2003. Vol. 69. P. 1800–1809. DOI: 10.1111/1462-2920.12452.
- Gottel N. R., Castro H. F., Kerley M., Yang Z., Pelletier D. A., Podar M., Karpinets T., Uberbacher E., Tuskan G. A., Vilgalys R., Doktycz M. J., Schadt C. W. Distinct microbial communities within the endosphere and rhizosphere of *Populus deltoides* roots across contrasting soil types // Appl. Environ. Microbiol. 2011. Vol. 77. P. 5934–5944. DOI: 10.1128/AEM.05255-11.
- Handelsman J. Metagenomics: application of genomics to uncultured microorganisms // Microbiology and molecular biology reviews. 2004. Vol. 68 (4). P. 669–685. DOI: 10.1128/MMBR.68.4.669-685.2004.
- Jones R. T., Robeson M. S., Lauber C. L., Hamady M., Knight R., Fierer N. A comprehensive survey of soil acidobacterial diversity using pyrosequencing and clone library analyses // ISME J. 2009. Vol. 3 (4). P. 442–453. DOI: 10.1038/ismej.2008.127.
- Knief C., Delmotte N., Chaffron S., Stark M., Innerebner G., Wassmann R., von Mering C., Vorholt J. A. Metaproteomic analysis of microbial communities in the phyllosphere and rhizosphere of rice // ISME J. 2012. Vol. 6. P. 1378–1390. DOI: 10.1038/ismej.2011.192.
- Krishna M., Gupta S., Delgado-Baquerizo M., Morriën E., Garkoti S. C. et al. Successional trajectory of bacterial communities in soil are shaped by plant-driven changes during secondary succession // Scientific reports. 2020. Vol. 10. P. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-020-66638-x.
- Lin Y. T., Lin Y. F., Tsai I. J. Structure and Diversity of Soil Bacterial Communities in Offshore Islands // Scientific reports. 2019. Vol. 9 (1). P. 4689. DOI: 10.1038/s41598-019-41170-9.
- Makhalanyane T. P., Valverde A., Gunnigle E., Frossard A., Ramond J.-B., Cowan D. A. Microbial ecology of hot desert edaphic systems // FEMS Microbiol Rev. 2015. Vol. 39 (2). P. 203–221. DOI: 10.1093/femsre/fuu011.
- World reference base for soil resources 2006. IUSS Working Group. World Soil Resources Reports. No 103. Rome, 2006. 145 p.
- Mendes L. W., Kuramae E. E., Navarrete A. A., van Veen J. A., Tsai S. M. Taxonomical and functional microbial

community selection in soybean rhizosphere // ISME J. 2014. Vol. 8. P. 1577–1587. DOI: 10.1038/ismej.2014.17.

Semendyaeva N. V., Korobova L. N., Elizarov N. V. Changes in the Properties and Biological Activity of Crusty Solonetzes in the Baraba Lowland under the Long-Term Impact of Gypsum // Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 11. P. 1116–1122. DOI: 10.1134/S1064229314110118.

### **Благодарности**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90096.

# GRASSING AS AN ECOLOGICAL FACTOR OF TRANSFORMATION OF THE SOLONETZ AND ITS MICROFLORA

**KOROBOVA**  
**Larisa Nikolaevna**

*D.Sc., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
Novosibirsk State Agrarian University, lkorobova@mail.ru*

**RIKSEN**  
**Vera Sergeevna**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
Novosibirsk State Agrarian University, Riclog@mail.ru*

## Keywords:

small solonetz  
phytomelioration  
grassing  
soil microorganisms  
16S rRNA

**Summary:** One of the global environmental problems is soil salinization, including secondary one, covering about 950 million hectares in terrestrial ecosystems. In Western Siberia, about 40 % of the territory is represented by solonetzic soils and their full use is associated with gypsuming (which is expensive) or long-term reclamation with grasses. Herbs-phytomeliorants are not only many times more productive than natural meadows, but also have a desalinating effect. To increase the yield of fodder crops on solonetzic lands, specialists of the Siberian Research Institute of Feed in the 80s of the last century developed phytomeliorative crop rotations. The article examines the effect of grassing of forage crop rotations with a mixture of brome (*Bromus inermis* Leyss.) and alfalfa (*Medicago varia* Mart.) for thirteen years on the microflora of meadow (hydromorphic) solonetzic soils (Gleyic Solonetz Albic.). Grassing after forage crop rotation led to an improvement in the water-air regime of solonetzic soils, as well as to a significant desalinization of the upper soil horizon and a decrease in its alkalinity. Long-term cultivation of fodder crop rotations and subsequent grassing formed a specific soil microbiocenosis, characterized by a taxonomic diversity of microorganisms and a greater proportion of copiotrophs in the dominant phyla, which indirectly indicates an increase in the carbon content and nitrogen available to plants in the phytomeliorated solonetz.

**Received on:** 17 February 2021

**Published on:** 22 June 2022

## References

- Berg G., Smalla K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere, *FEMS Microbiol. Ecol.* 2009. Vol. 68. P. 1–13. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x.
- Bhattacharyya A., Pablo C. H. D., Mavrodi O. V., Weller D. M., Thomashow L. S., Mavrodi D. V. Rhizosphere plant-microbe interactions under water stress, Eds.: G. M. Gadd, S. Sariaslani, *Advances in Applied Microbiology*. 2021. Vol. 115. P. 65–113. DOI: 10.1016/bs.aambs.2021.03.001.
- Bulgarelli D., Garrido-Oter R., Munch P. C., Weiman A., Dröge J., Pan Y., McHardy A. C., Schulze-Lefert P. Structure and function of the bacterial root microbiota in wild and domesticated barley, *Cell Host Microbe*. 2015. Vol. 17. P. 392–403. DOI: 10.1016/j.chom.2015.01.011.
- Coleman-Derr D., Desgarennes D., Fonseca-Garcia C., Gross S., Clingenpeel S., Woyke T., North G., Visel A., Partida-Martinez L. P., Tringe S. G. Plant compartment and biogeography affect microbiome composition in cultivated and native *Agave* species, *New Phytol.* 2016. Vol. 209. P. 798–811. DOI: 10.1111/nph.13697.
- De Bruyn 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 (17). P. 6295–6300. DOI: 10.1128/AEM.05005-11.
- Edgar R. C. SINTAX, a Simple Non-Bayesian Taxonomy Classifier for 16S and ITS Sequences, *bioRxiv preprint*. 2016. Vol. 9. P. 074161. DOI: 10.1101/074161.
- Elizarov N. V., Lomova T. G., Ustinov M. T., Popov V. V. Effect of agrobiological melioration on the salt profile of solonetzic soils of Eastern Baraba, *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. No. 1. P. 18–25. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-2.
- Fierer N., Leff J. W., Adams B. J., Nielsen U. N., Bates S. T., Lauber C. L., Owens S., Gilbert J. A., Wall D. H., Caporaso J. G. Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes, *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012. Vol. 109 (52). P. 21390–21395. DOI: 10.1073/pnas.1215210110.
- Gao W., Xu J., Zhao J., Zhang H., Ni Y., Zhao B., Jia Z. Prokaryotic community assembly after 40 years of

- soda solonetz restoration by natural grassland and reclaimed farmland, *European Journal of Soil Biology*. 2020. Vol. 100. R. 103213.
- Girvan M. S., Bullimore J., Pretty J. N., Osborn A. M., Ball A. S. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils, *Appl. Environ. Microbiol.* 2003. Vol. 69. P. 1800–1809. DOI: 10.1111/1462-2920.12452.
- Gottel N. R., Castro H. F., Kerley M., Yang Z., Pelletier D. A., Podar M., Karpinets T., Uberbacher E., Tuskan G. A., Vilgalys R., Doktycz M. J., Schadt C. W. Distinct microbial communities within the endosphere and rhizosphere of *Populus deltoides* roots across contrasting soil types, *Appl. Environ. Microbiol.* 2011. Vol. 77. P. 5934–5944. DOI: 10.1128/AEM.05255-11.
- Handelsman J. Metagenomics: application of genomics to uncultured microorganisms, *Microbiology and molecular biology reviews*. 2004. Vol. 68 (4). P. 669–685. DOI: 10.1128/MMBR.68.4.669-685.2004.
- Jones R. T., Robeson M. S., Lauber C. L., Hamady M., Knight R., Fierer N. A comprehensive survey of soil acidobacterial diversity using pyrosequencing and clone library analyses, *ISME J.* 2009. Vol. 3 (4). P. 442–453. DOI: 10.1038/ismej.2008.127.
- Knief C., Delmotte N., Chaffron S., Stark M., Innerebner G., Wassmann R., von Mering C., Vorholt J. A. Metaproteogenomic analysis of microbial communities in the phyllosphere and rhizosphere of rice, *ISME J.* 2012. Vol. 6. P. 1378–1390. DOI: 10.1038/ismej.2011.192.
- Konstantinov M. D. Kucherenko A. M. Timing and methods of grassing of Baraba solonetz, *Kormoproizvodstvo*. 2000. No. 4. P. 13–15.
- Korobova L. N. Influence of phytomeliorative crop rotations on the microflora of small and medium solonetz of Baraba, *Materialy nauchno-proizvodstvennoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Tyumen': Gop. agrarnyy un-t Severnogo Zaural'ya*, 2018. P. 425–431.
- Krishna M., Gupta S., Delgado-Baquerizo M., Morriën E., Garkoti S. C. et al. Successional trajectory of bacterial communities in soil are shaped by plant-driven changes during secondary succession, *Scientific reports*. 2020. Vol. 10. R. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-020-66638-x.
- Lin Y. T., Lin Y. F., Tsai I. J. Structure and Diversity of Soil Bacterial Communities in Offshore Islands, *Scientific reports*. 2019. Vol. 9 (1). P. 4689. DOI: 10.1038/s41598-019-41170-9.
- Lomova T. G. Korobova L. N. Phytomeliorative cultivation of solonetz of Baraba and its influence on the biological activity of the soil, *Sibirskiy vestnik sel'skohozyaystvennoy nauki*. 2015. No. 1. P. 12–18.
- Makhalanyane T. P., Valverde A., Gunnigle E., Frossard A., Ramond J. B., Cowan D. A. Microbial ecology of hot desert edaphic systems, *FEMS Microbiol Rev.* 2015. Vol. 39 (2). P. 203–221. DOI: 10.1093/femsre/fuu011.
- Mendes L. W., Kuramae E. E., Navarrete A. A., van Veen J. A., Tsai S. M. Taxonomical and functional microbial community selection in soybean rhizosphere, *ISME J.* 2014. Vol. 8. P. 1577–1587. DOI: 10.1038/ismej.2014.17.
- Muha V. D. On indicators reflecting the intensity and direction of soil processes, *Sbornik trudov Har'kovskogo sel'skohozyaystvennogo instituta*. 1980. T. 273. P. 13–16.
- Riksen V. S. Korobova L. N. Lomova T. G. Changes in the microbiome of small solonetz under the influence of long-term cultivation of sweet clover, *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tehniczeskie nauki*. 2021b. No. 10. P. 54–58. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.10.20.
- Riksen V. S. Korobova L. N. Biodiversity of bacteria of the small solonetz after 30 years of phytomelioration with sweet clover, *Aktual'nye voprosy agropromyshlennogo kompleksa Rossii i za rubezhom: Materialy vserep. (nac.) nauch, prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Molodezhnyy: Irkutskiy GAU im. A. A. Ezhevskogo*, 2021a. P. 129–134.
- Semendyaeva N. V. Properties of solonetz of Western Siberia and the theoretical foundations of chemical reclamation, *Pod red. A. N. Vlasenko. Novosibirsk: GUP RPO SO RASHN*, 2002. 157 p.
- Semendyaeva N. V., Korobova L. N., Elizarov N. V. Changes in the Properties and Biological Activity of Crusty Solonetz in the Baraba Lowland under the Long-Term Impact of Gypsum, *Eurasian Soil Science*. 2014. Vol. 11. P. 1116–1122. DOI: 10.1134/S1064229314110118.
- Suyundukov Ya. T. Hasanova R. F. Suyundukova M. B. Phytomeliorative effectiveness of perennial grasses on the chernozems of the Trans-Urals, *Pod red. chl, korr. AN RB, prof. F. H. Hazieva. Ufa: Gilem*, 2007. 132 p.
- Vagina T. A. Meadows of Baraba. Novosibirsk, 1962. Ch. 1. 198 p.
- World reference base for soil resources 2006. IUSS Working Group. *World Soil Resources Reports*. No 103. Rome, 2006. 145 p.