



**ЛАБОРАТОРИЯ**  
ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА И  
МИКРОБНОЙ ЭКОЛОГИИ

**РИТМ**  
УГЛЕРОДА



**ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНЫХ ДРАЙВЕРОВ  
СЕКВЕСТРАЦИИ И ДЕПОНИРОВАНИЯ  
ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ АГРОЭКОСИСТЕМ**

зав. лаб., к.б.н. Семенов М.В.

[semenov\\_mv@esoil.ru](mailto:semenov_mv@esoil.ru)  
<https://ecosoil-lab.ru/>



# ЛАБОРАТОРИЯ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА И МИКРОБНОЙ ЭКОЛОГИИ

15 сотрудников, **13** – до 39 лет

Средний возраст: **31** год

**3** аспиранта и **2** студента

**2** аспиранта выполняют  
диссертации по тематике  
лаборатории

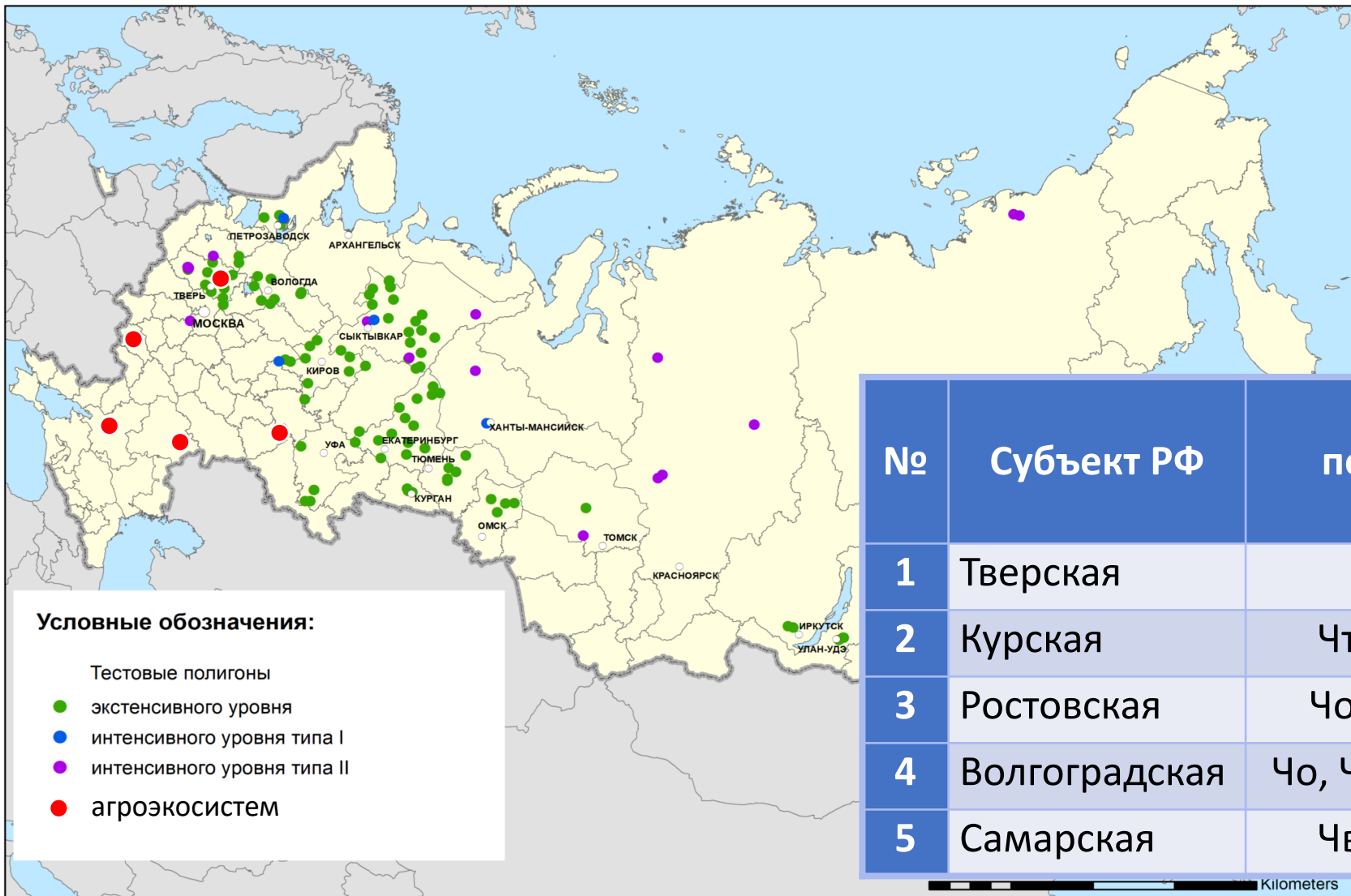


# ВИП ГЗ "ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ"

## НОЦ «Углерод в экосистемах: мониторинг»

сеть мониторинга:  
2024 г. — 259 полигонов  
2030 г. — 1329 полигонов

"Разработка и научное обоснование системы учета бюджета углерода в агроэкосистемах"

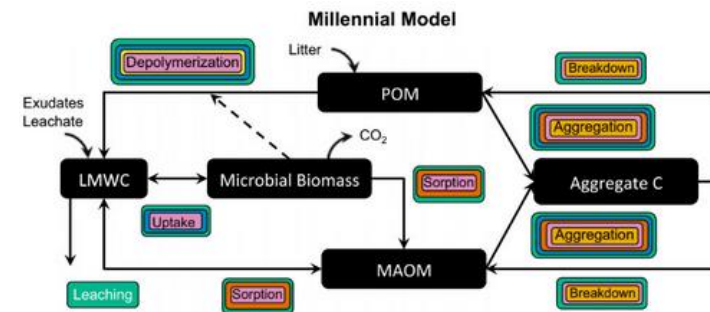
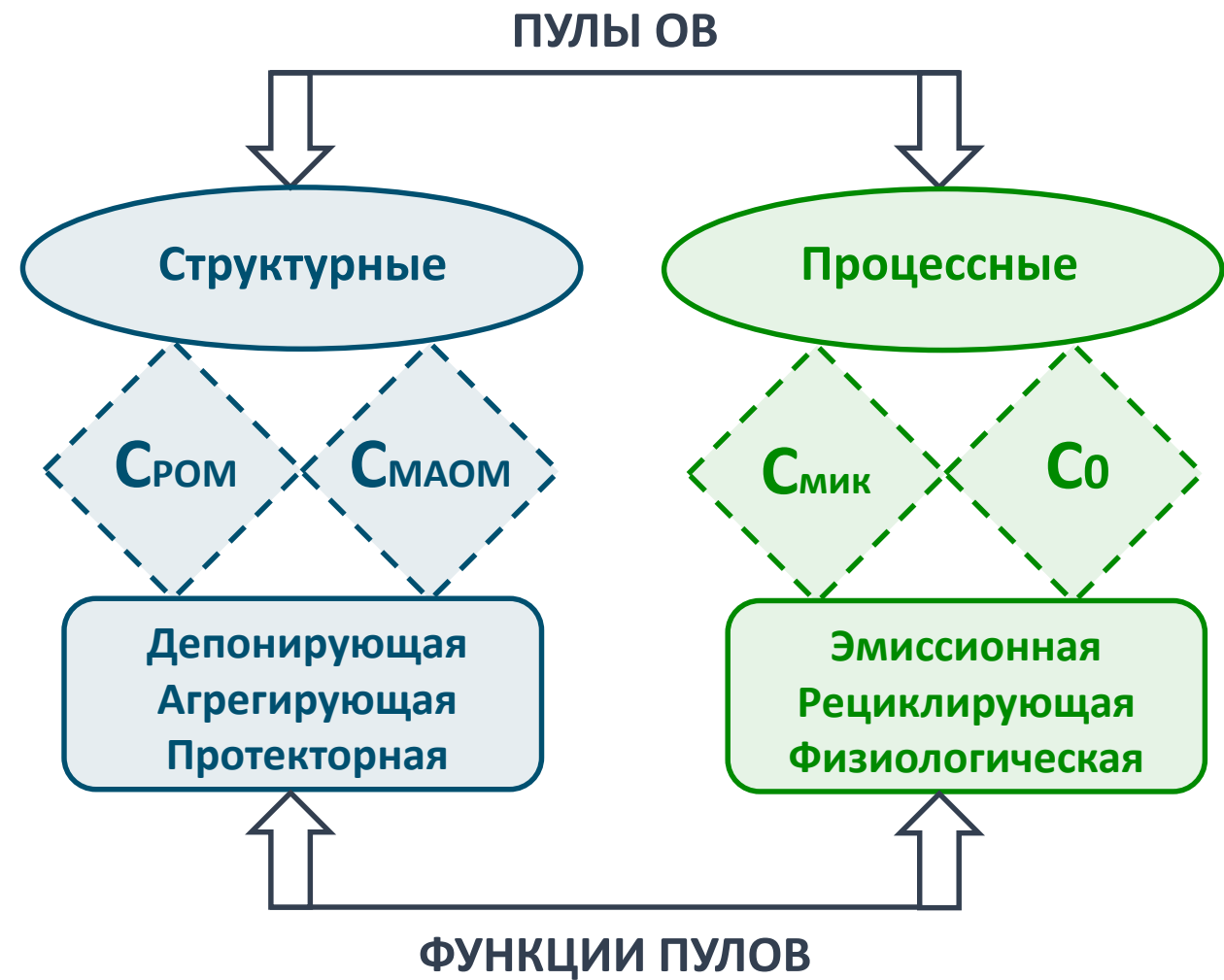


№	Субъект РФ	почвы	площадь ок, шт.	образцов, шт.	
				С орг	плотность
1	Тверская	Пд	13	1170	780
2	Курская	Чт и Чв	9	315	189
3	Ростовская	Чо и Чю	7	951	240
4	Волгоградская	Чо, Чю и Кш	7	351	212
5	Самарская	Чв и Чт	10	1264	310

Почвенный органический углерод представлен пулами, имеющими разную скорость оборачиваемости или пребывания в почве и выполняющими специфические функции в динамике ПОВ. Основная часть секвестрируемого С в почве представлена твердыми дискретными частицами размером 2-0.053 мм (**Particulate Organic Matter, POM**), образующимися на стадии фрагментации и разложения растительных остатков почвенными микроорганизмами. Поэтому пул POM в наибольшей мере характеризует текущие размеры **секвестрации С** с растительными остатками.

**Стабилизация** и **длительность сохранения** секвестрированного С связаны с пулом органо-минеральных комплексов размером <0.053 мм (**Mineral-Associated Organic Matter, MAOM**). Если время полного разложения пула POM составляет от нескольких лет до десятилетий, то MAOM – достигает сотни лет. Поэтому основным критерием эффективности **депонирования С** в почве является увеличение пула минерально-ассоциированного ОВ.

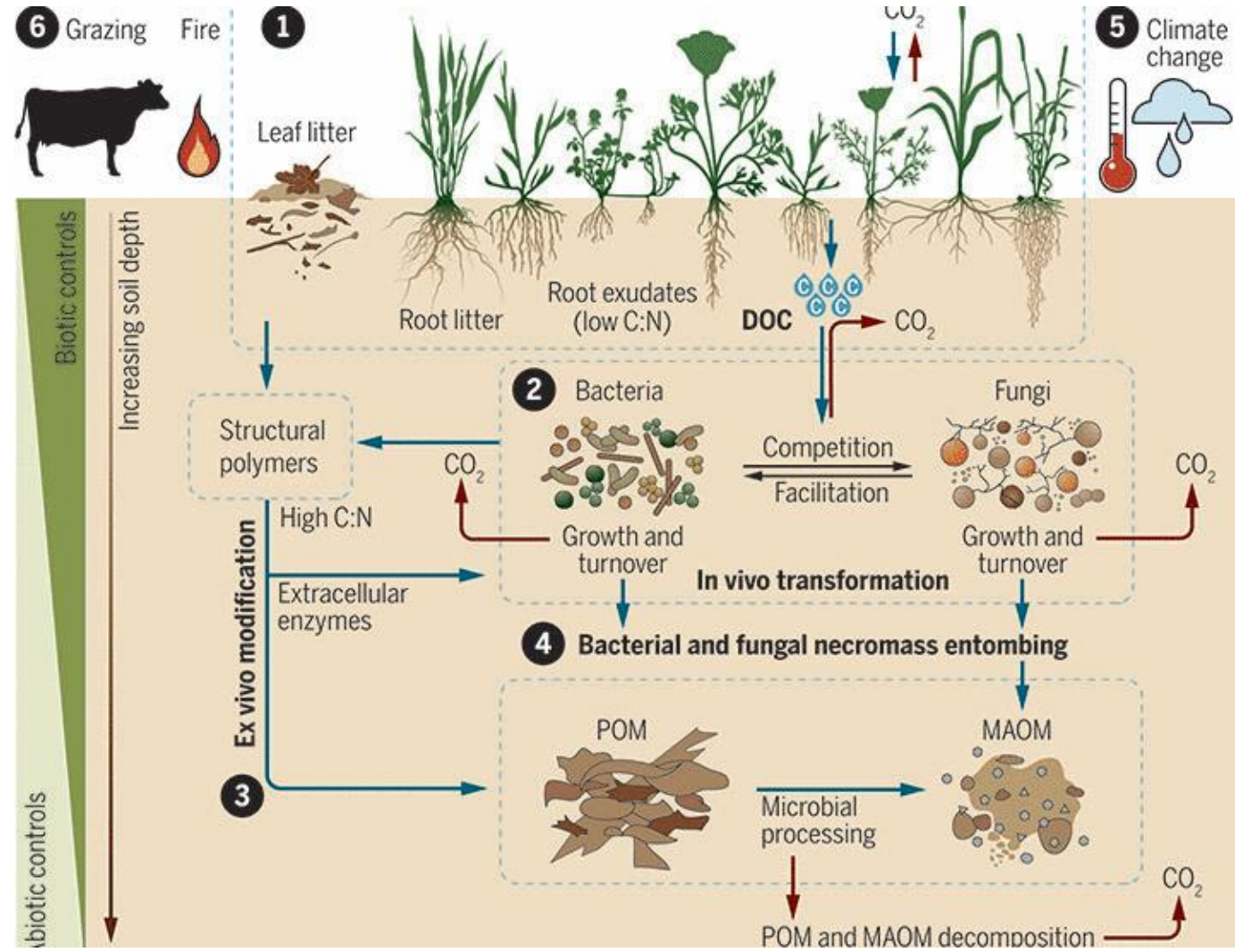
Микробный пул почвы дает представление как о **минерализационном потенциале ПОВ** и эмиссионной активности почвы, так и о степени преобразования пула POM в пул MOAM. Чем быстрее и активнее осуществляется микробное разложение, тем больше и прочнее стабилизация микробных продуктов на поверхности минеральных частиц.



Микроорганизмы играют ключевую роль в превращениях и потоках С в почве

Микроорганизмы, с одной стороны, представляют собой микробный пул органического вещества почвы – самую активную и динамичную часть ПОВ.

С другой стороны, микроорганизмы служат медиаторами и агентами биохимических процессов в почвах, синтезируя ферменты и осуществляя минерализацию ПОВ



## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ:

Исследовать микробные драйверы секвестрации и стабилизации органического вещества (ОВ) в почвах агроэкосистем трёх провинций почвенно-экологического районирования РФ с целью минимизации эмиссионных потерь углерода и увеличения объемов его депонирования.

## СПИСОК ЗАДАЧ НА 2023 ГОД:

- Определить размеры пулов, молекулярный состав и маркеры трансформации органического углерода почв южно-таежной и лесостепной природных зон в ряду разного землепользования (залежь-пашня-сенокос-пастбище).
- Определить таксономическое и функциональное разнообразие микробиома почв разных систем землепользования и оценить связь со структурой функциональных пулов органического вещества почвы.
- Определить соотношения разных экологических групп микроорганизмов и их экологических стратегий в почвах разного землепользования, а также оценить их роль в разложении и минерализации почвенного ОВ.

Физиологические  
характеристики  
почвенного микробиома



Пулы ПОВ и генетические  
показатели почвенного  
микробиома



Молекулярный состав и  
маркеры трансформации  
ПОВ

Физиологические  
характеристики  
почвенного микробиома



Пулы ПОВ и генетические  
показатели почвенного  
микробиома



Молекулярный состав и  
маркеры трансформации  
ПОВ

Физиологический профиль  
потребления органических  
субстратов

Пулы ПОВ, связанные  
с секвестрацией и  
минерализацией С

Молекулярный  
состав ПОВ

Кинетические параметры  
роста микроорганизмов

Численность генов  
микроорганизмов

Степень разложенности  
и окисленности ПОВ

Рост на питательных средах  
с разной концентрацией ПОВ

Таксономический состав и  
экологические стратегии

Лабильность ПОВ и его  
устойчивость к разложению

Мультисубстратное тестирование  
Кинетика роста микробных сообществ  
Культивирование  
Базальное дыхание  
Люминесцентная микроскопия

Гранулометрическое фракционирование  
Биокинетическое фракционирование  
Микробный углерод (СИД)  
Численность копий генов методом РТ-ПЦР  
Таксономическая структура грибов и бактерий (NGS)

Пиролиз  
ИК-спектры ПОВ  
Оптические свойства ВЭОВ

# ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными объектами исследований являются образцы почв, отобранные в рамках программы ВИП ГЗ по теме «Разработка и научное обоснование системы учета бюджета углерода в агроэкосистемах Российской Федерации на основе наземных и дистанционных измерений», выполняемой ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева». В 2023 году исследования проводились с двумя группами объектов:

Тверская область, Эммаус

Агродерново-подзолистая почва

Землепользования: залежь, пашня, сенокос, пастбище

Глубина: от поверхности до 40 см

Пространственная повторность: 5-кратная

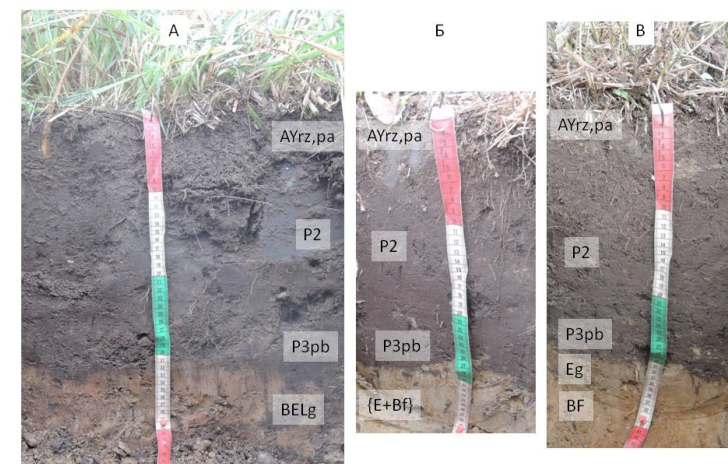
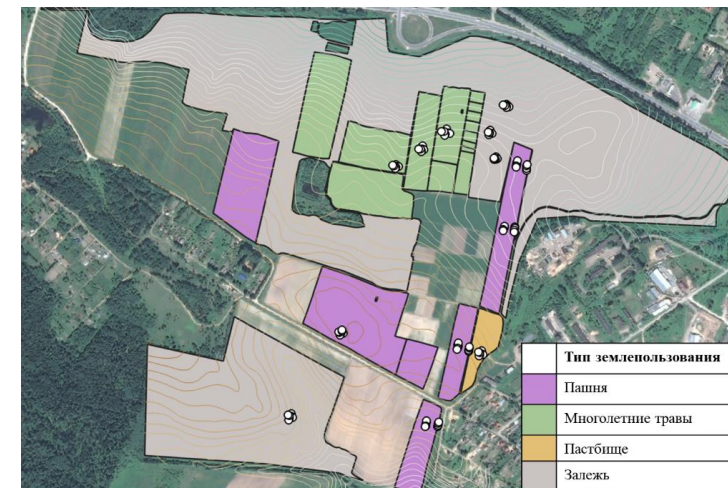
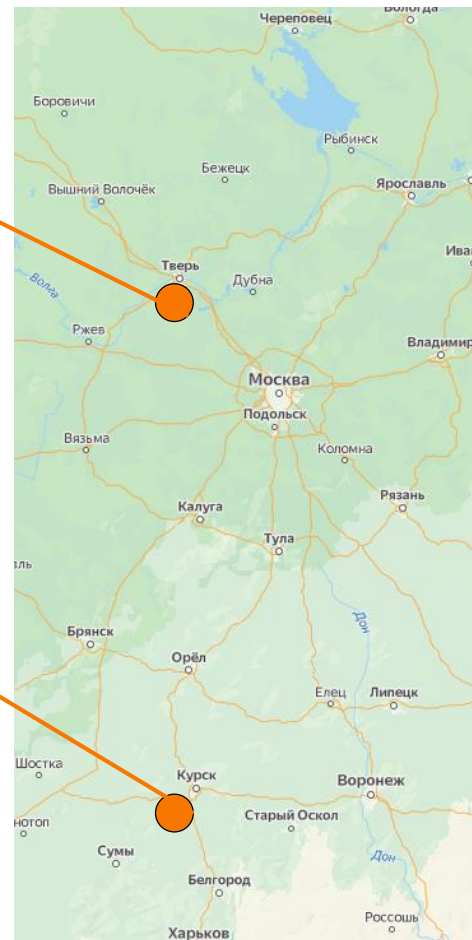
Курская область, участок «ИГ РАН», ООО «Панинское»

Агрочернозем типичный

Землепользование: залежь, пашня

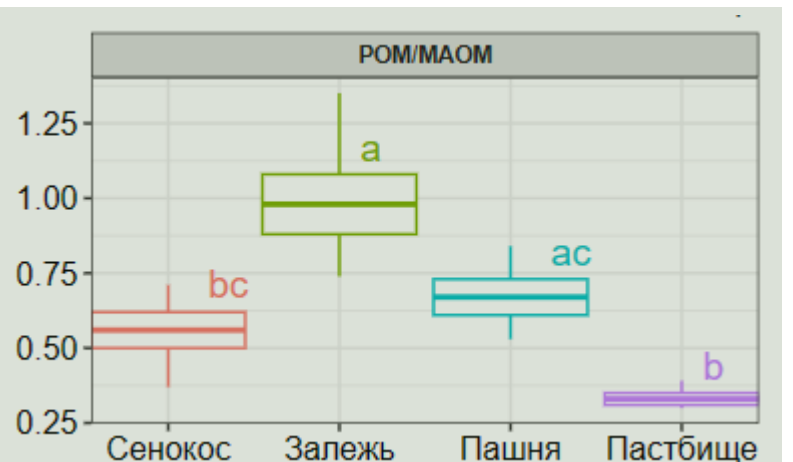
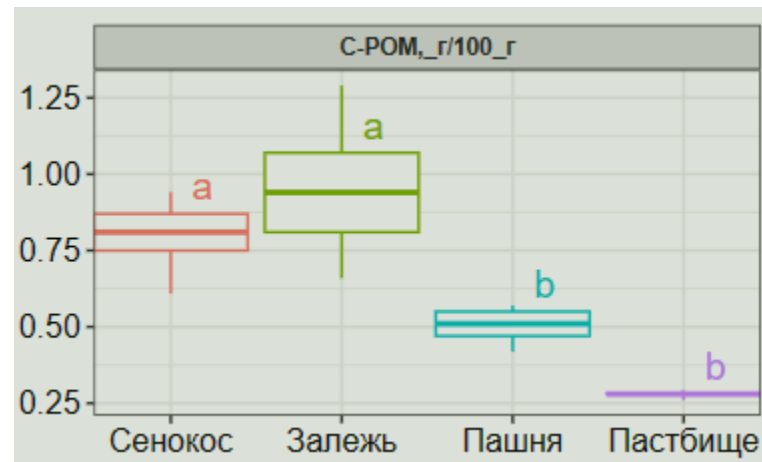
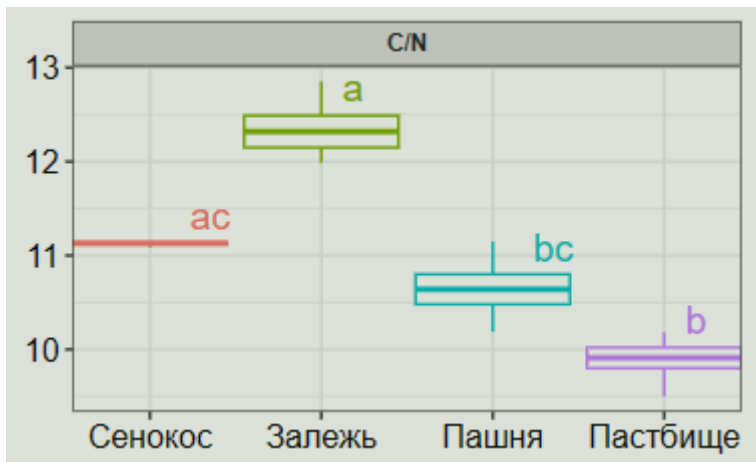
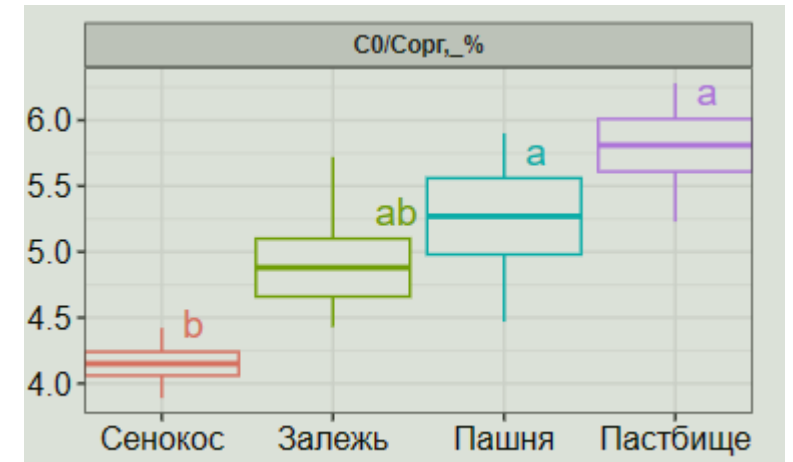
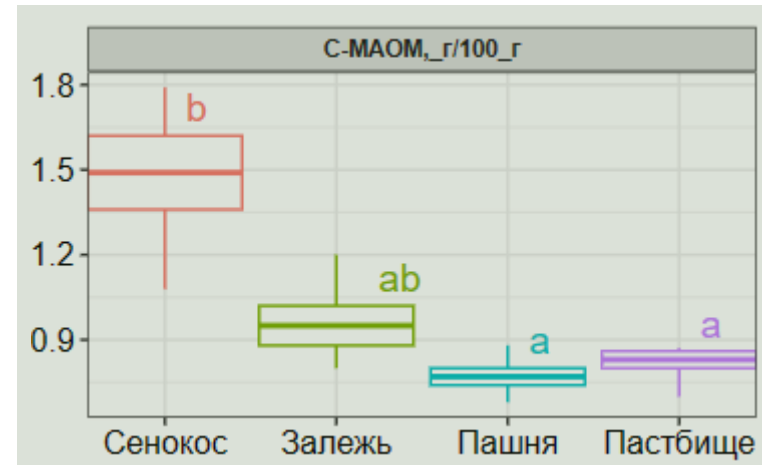
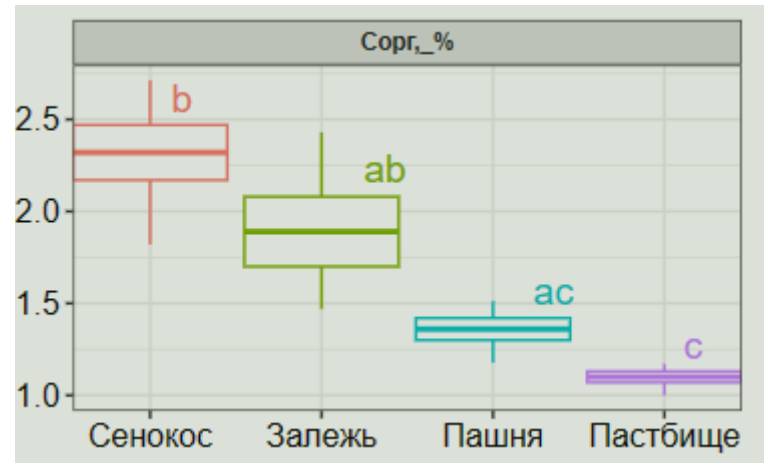
Глубина: от поверхности до 90 см

Пространственная повторность: 3-кратная





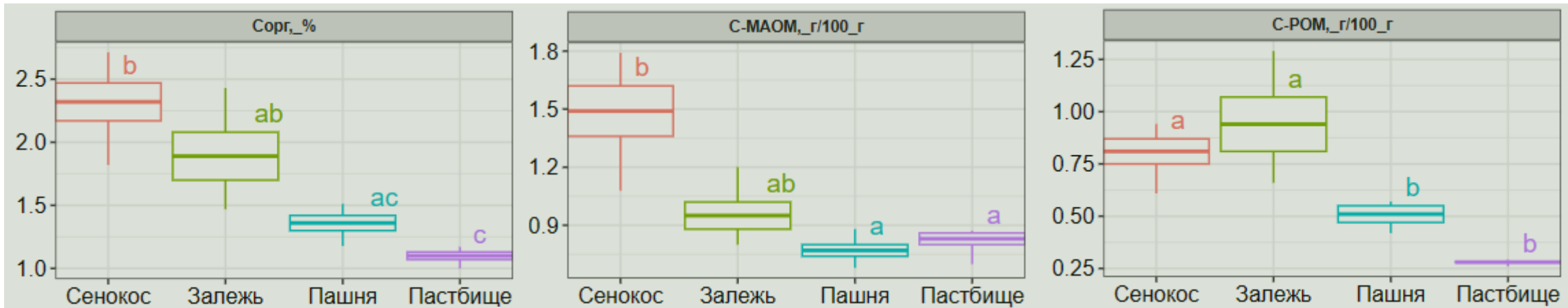
# ПУЛЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ



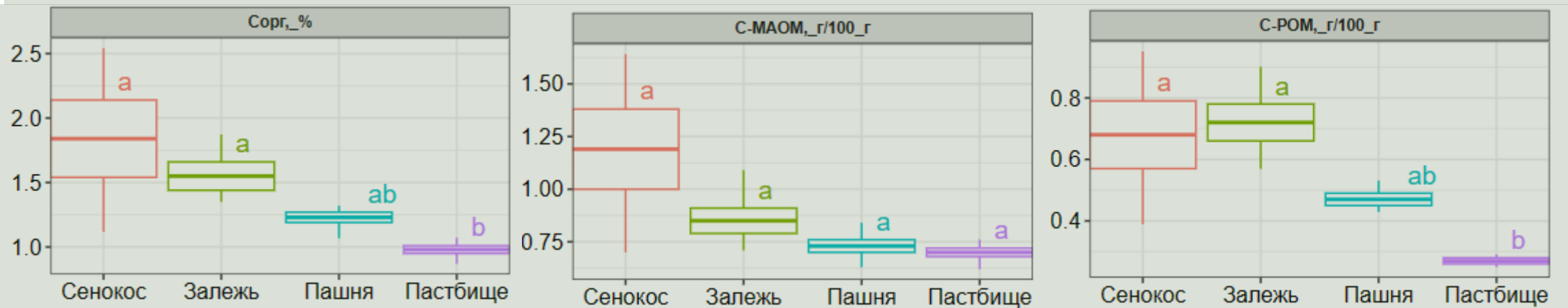
- Содержание общего органического углерода (Сорг) значительно меняется в зависимости от типа землепользования и снижаются в ряду: сенокос – залежь – пашня – пастбище. Рост содержания Сорг связан с повышением содержания минерально-ассоциированного углерода (МАОМ). Вклад РОМ в Сорг существенен для почвы сенокоса и особенно залежи.
- Почва залежи характеризуется самыми высокими значениями C/N, РОМ и РОМ/МАОМ, что означает **доминирование секвестрации**
- В почве пастбища низкие значения РОМ, МАОМ, РОМ/МАОМ при высоких C0/Сорг указывают на **высокий эмиссионный потенциал**

# ПУЛЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

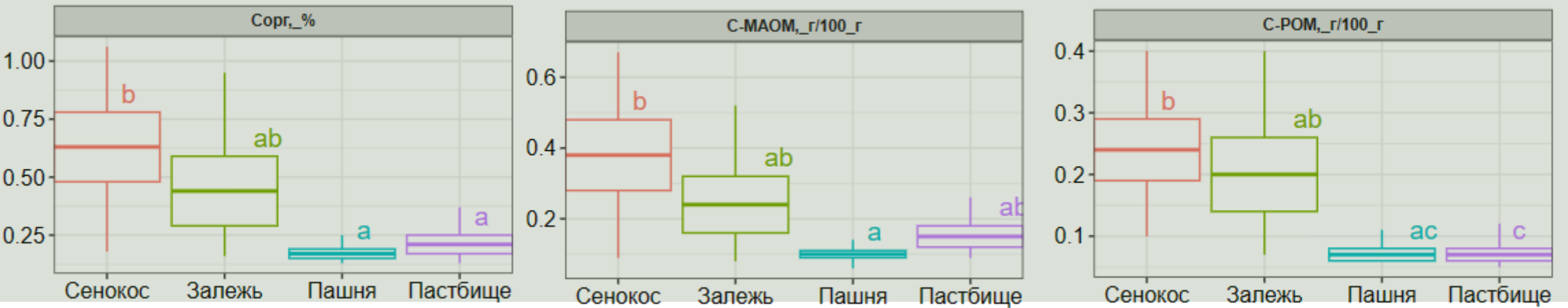
0-10 см

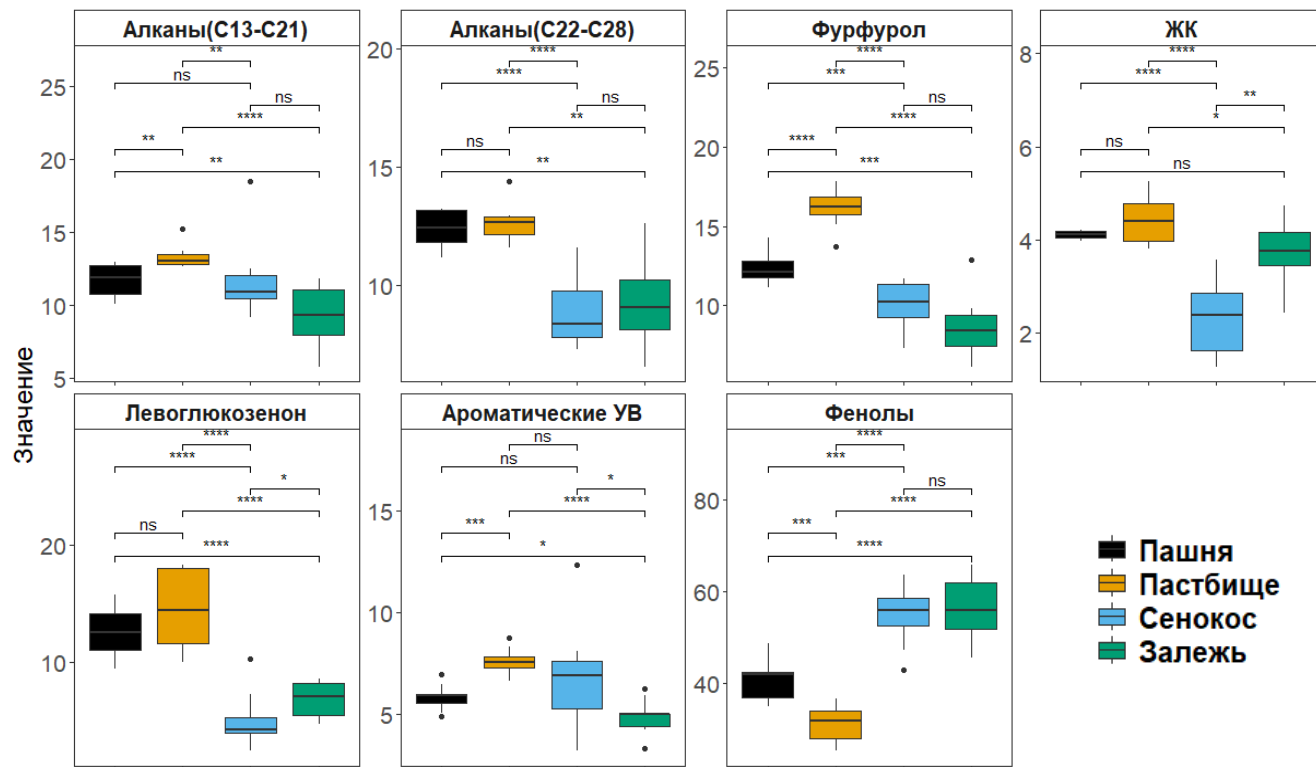


10-20 см

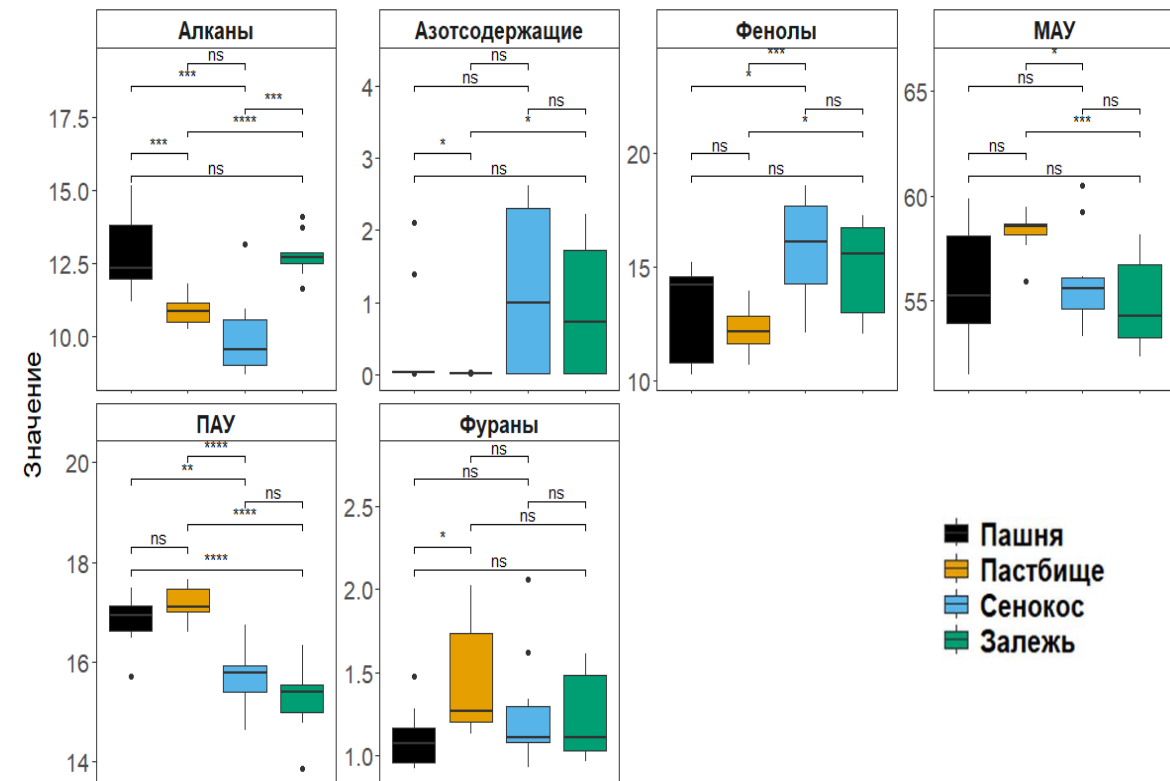


30-40 см





Содержание пирилизатов **термолабильного** ОВ



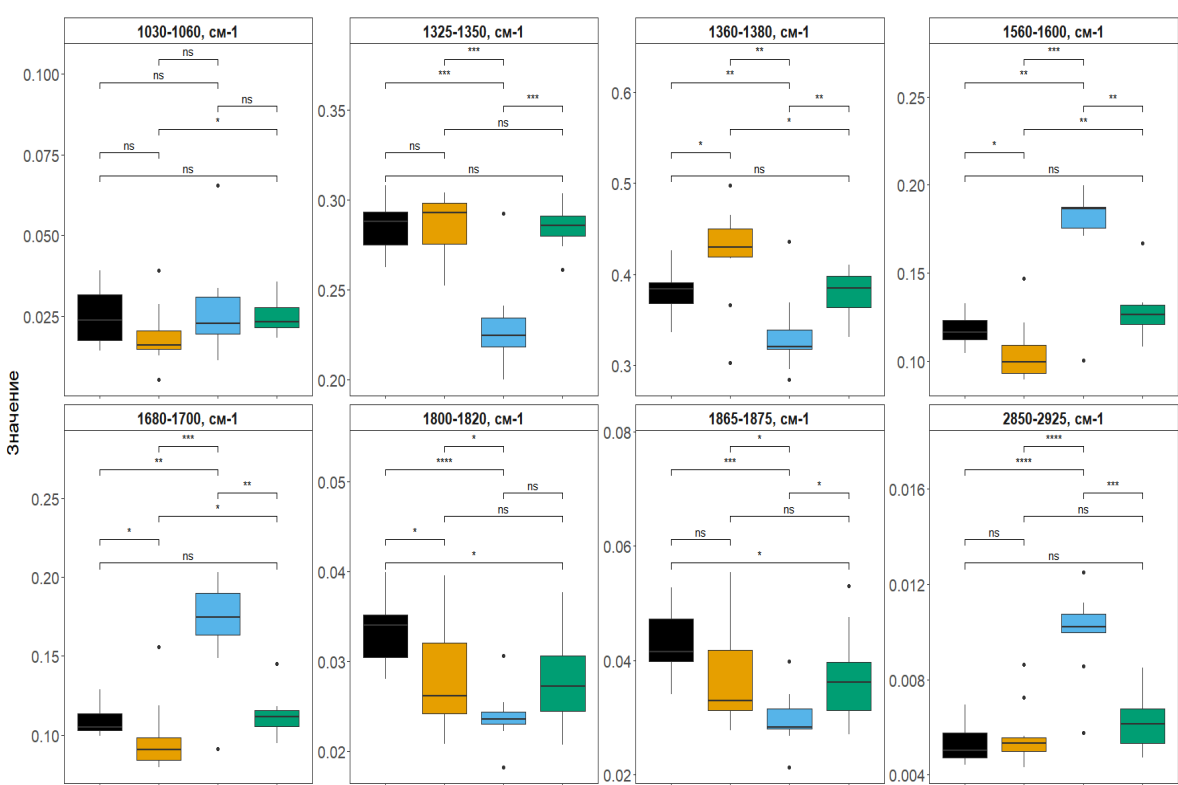
Содержание пирилизатов **термостабильного** ОВ

Молекулярный состав ОВ почвы определяли методом двухстадийного аналитического пиролиза с последующим газовым хроматографированием и масс-спектрометрией;

В отличие от черноземов, в дерново-подзолистой почве выявлено обилие длинноцепочечных алканов, метиловых эфиров жирных кислот, метоксифенолов, левоглюкозана и левоглюкозенона, которые указывают на обилие свежего или слаботрансформированного ОВ;

В почвах с наибольшим содержанием Сорг (сенокос, залежь) наблюдалось преобладание фенолов, фуранов и N-содержащих соединений, в почвах со сниженным содержанием Сорг (пашня, пастбище) – алканов и левоглюкозенона;

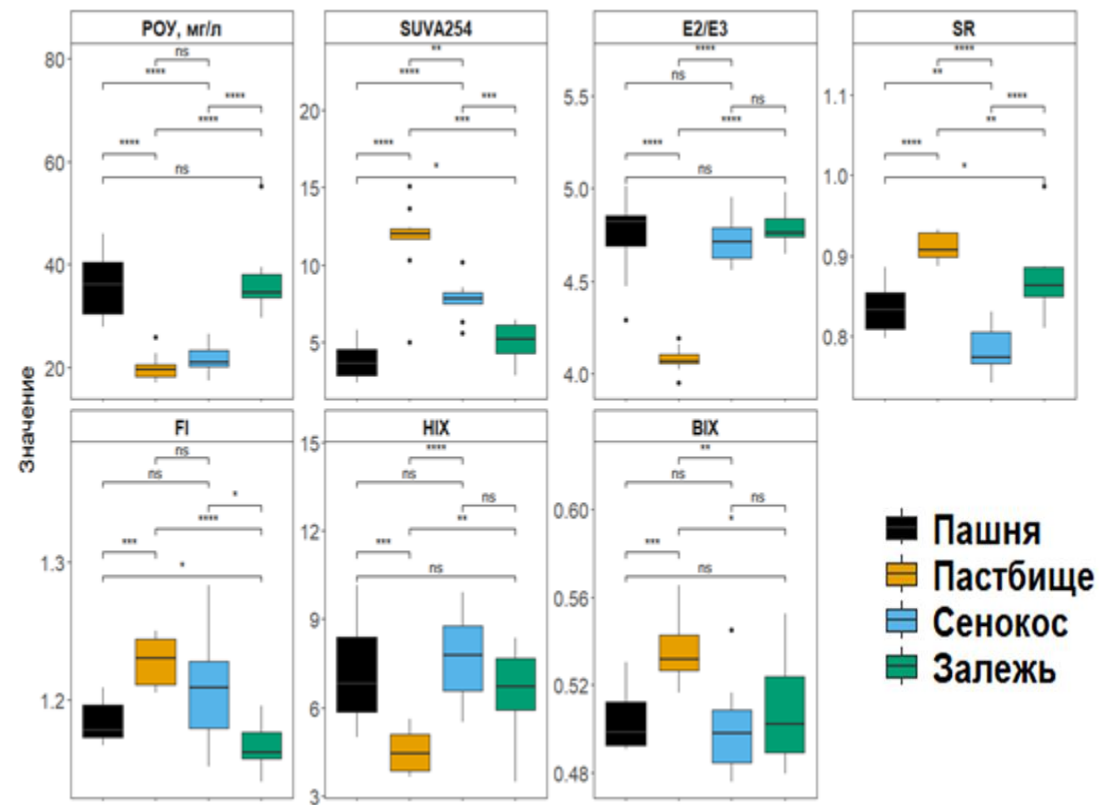




### Интенсивность полос поглощения (ИК-спектроскопия)

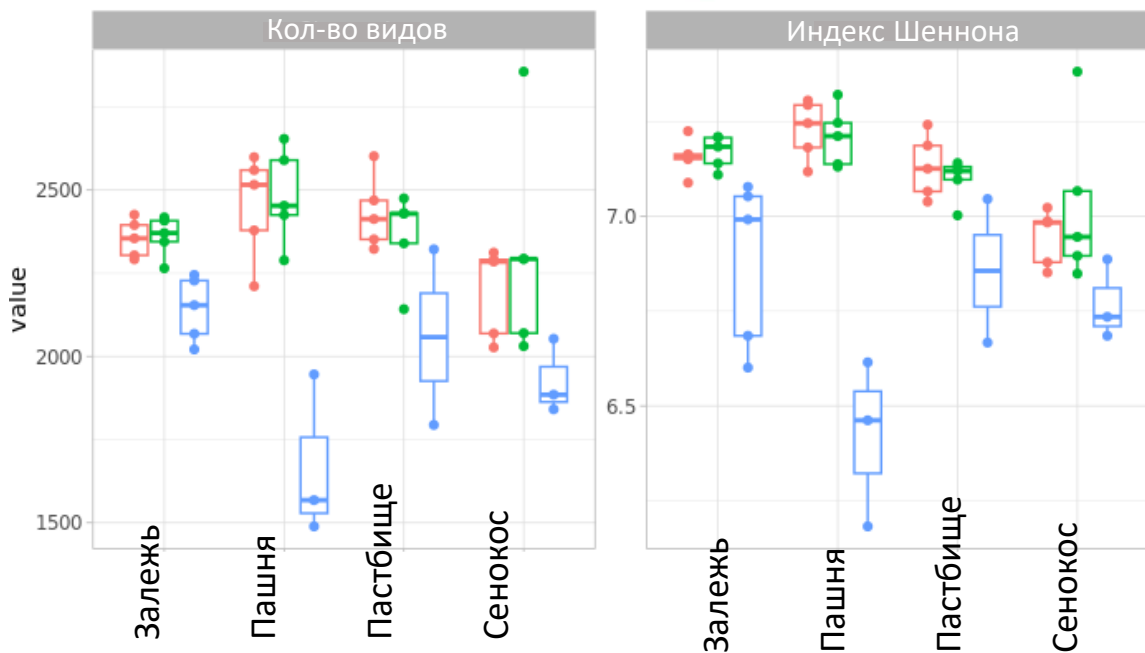
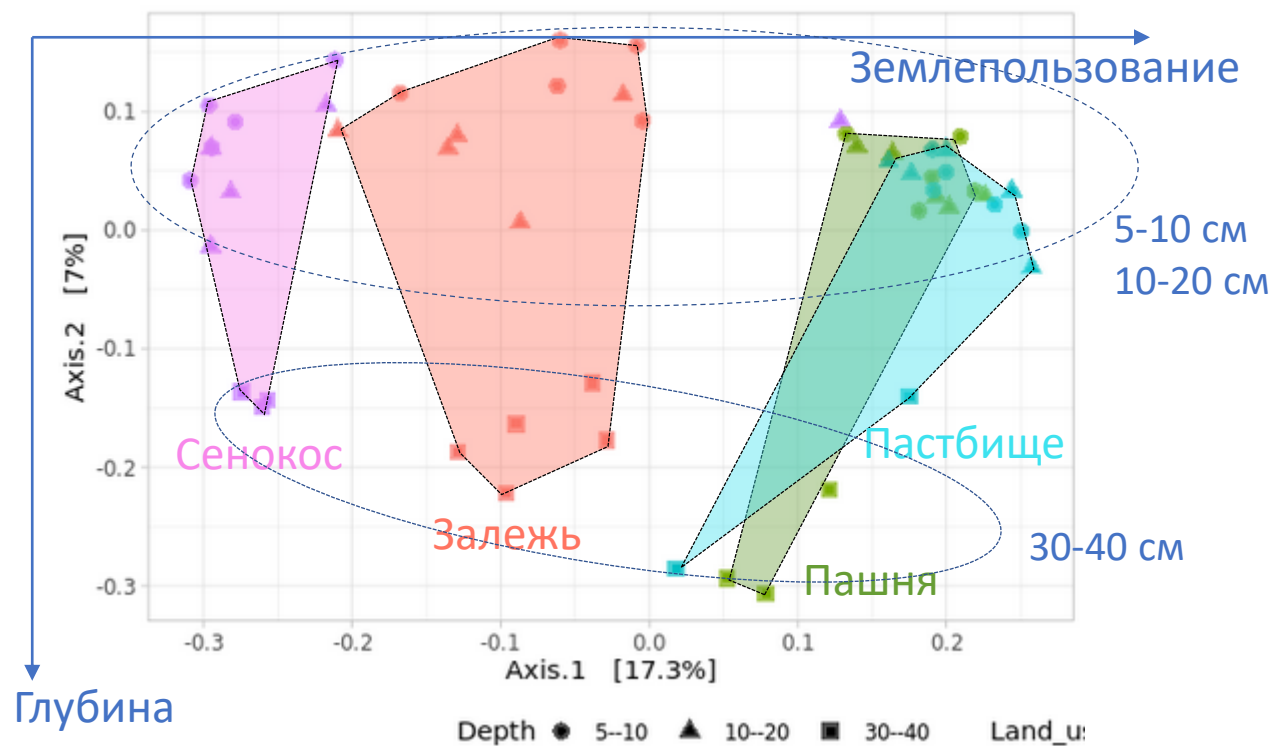
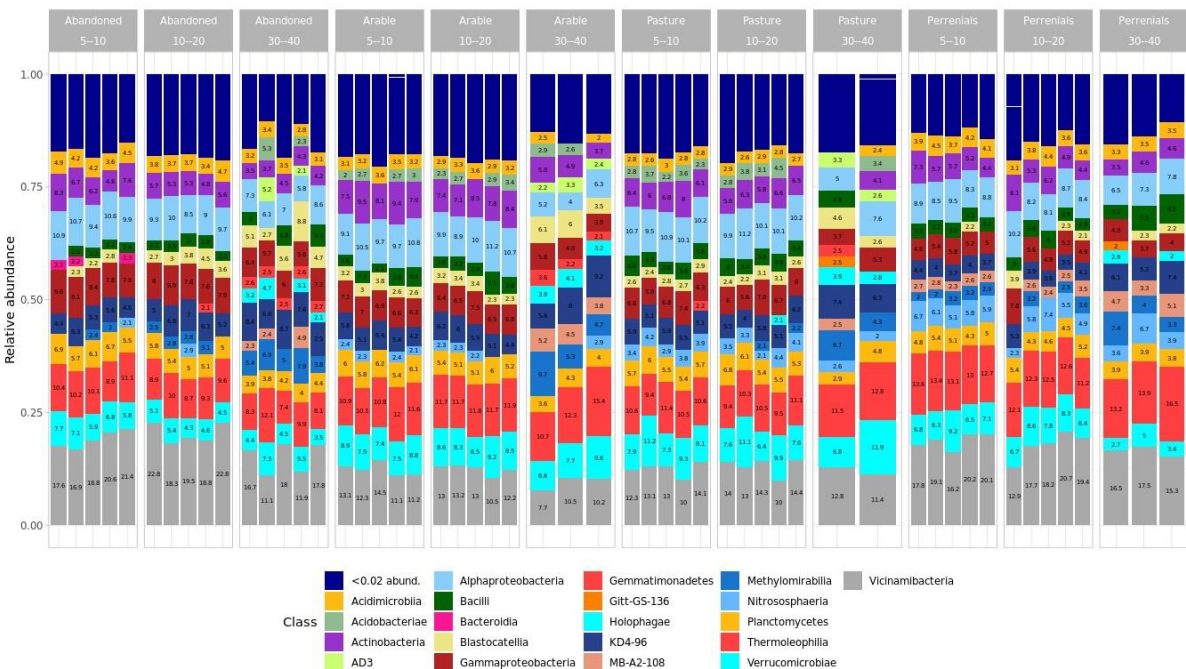
Дерново-подзолистые почвы сенокоса под многолетними травами заметно отличались по строению ПОВ, которое характеризовалось высокой долей ароматических и алифатических структур, а также низким содержанием карбоксильных и карбонильных групп. Дерново-подзолистая почва под сенокосом была наиболее близка по составу ПОВ к черноземам, что отражается в высокой доле ароматических структур и означает активную гумификацию ОВ;

Высокое значение индекса флуоресценции и низкое значение относительной ароматичности водоекстрагируемого ОВ дерново-подзолистых почв под сенокосом указывает на то, что основными продуктами трансформации ОВ являются низкомолекулярные ароматические соединения - продукты разложения лигнина;



### Оптические свойства водоекстрагируемого ОВ

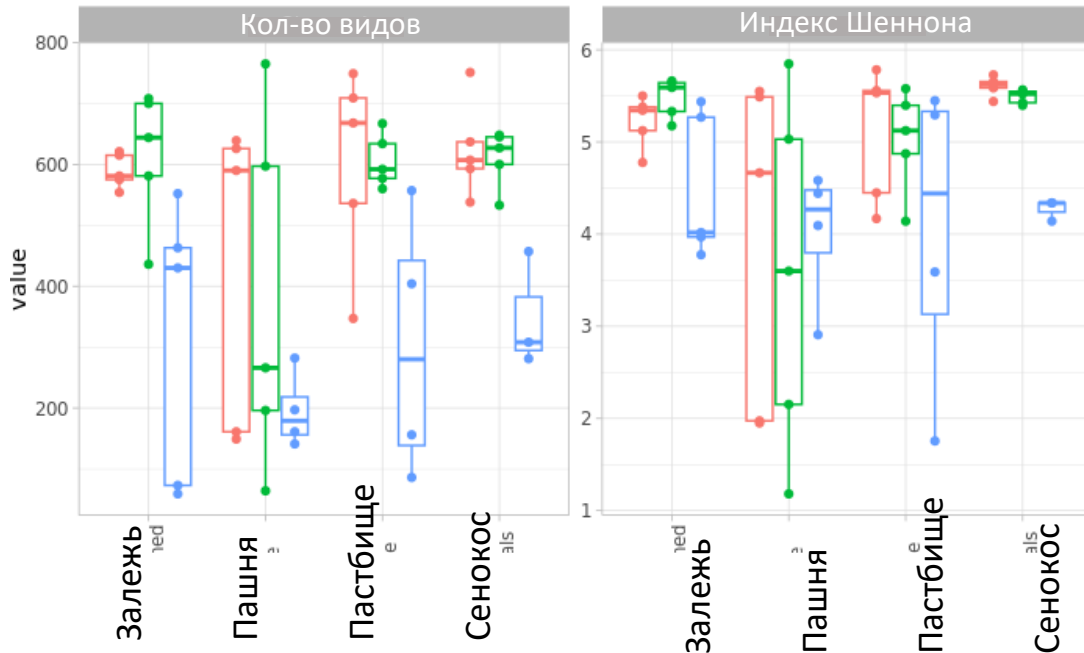
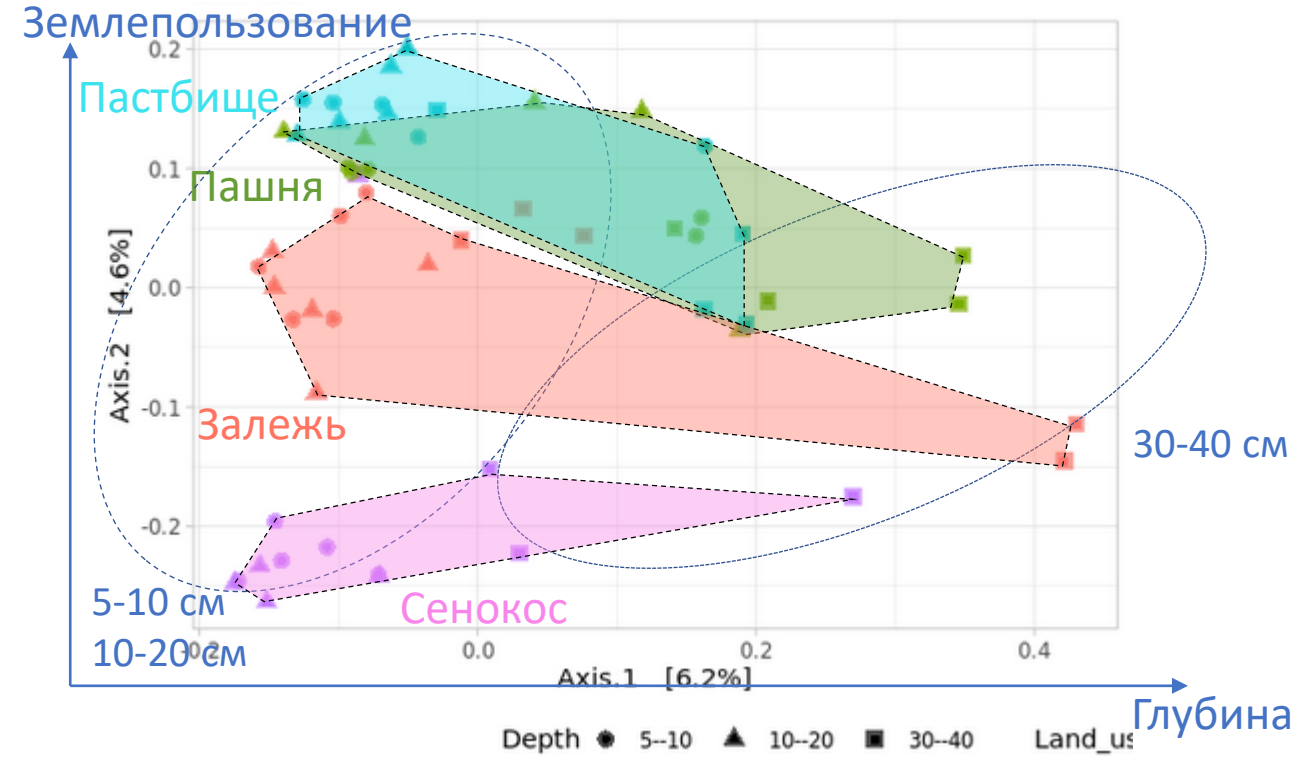
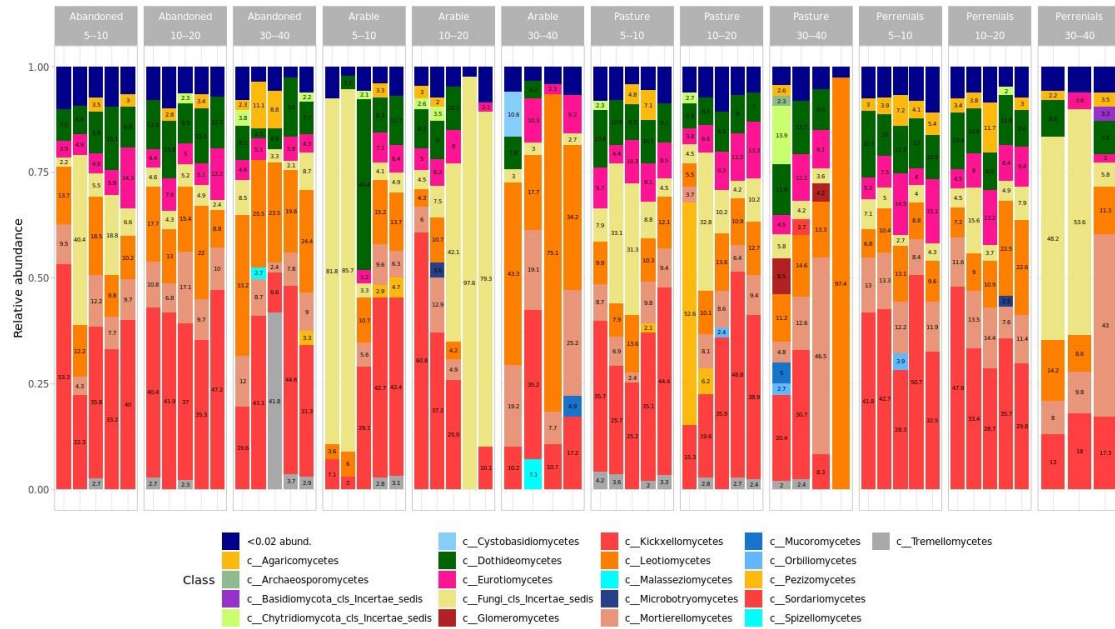
# ПРОКАРИОТНЫЕ СООБЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ РАЗНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ



Таксономический состав прокариотных сообществ почв четко кластеризовался по типам землепользования и глубине. Тип землепользования влияет на состав микробиома на глубине 30-40 см.

Наибольшее разнообразие детектировали в пашне и пастбище, наименьшее – на сенокосе. При этом очень низкое разнообразие было выявлено в подпахотном слое почвы пашни

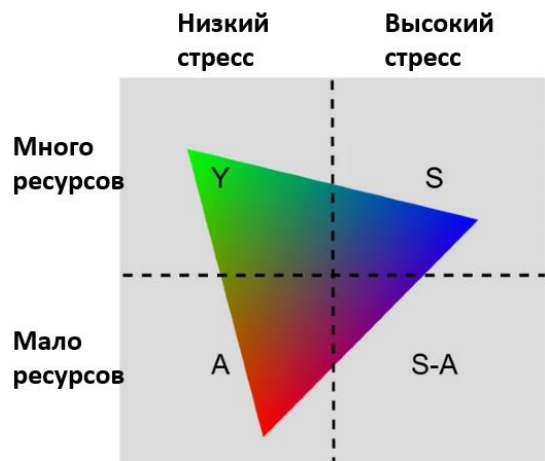
# ГРИБНЫЕ СООБЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ РАЗНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ



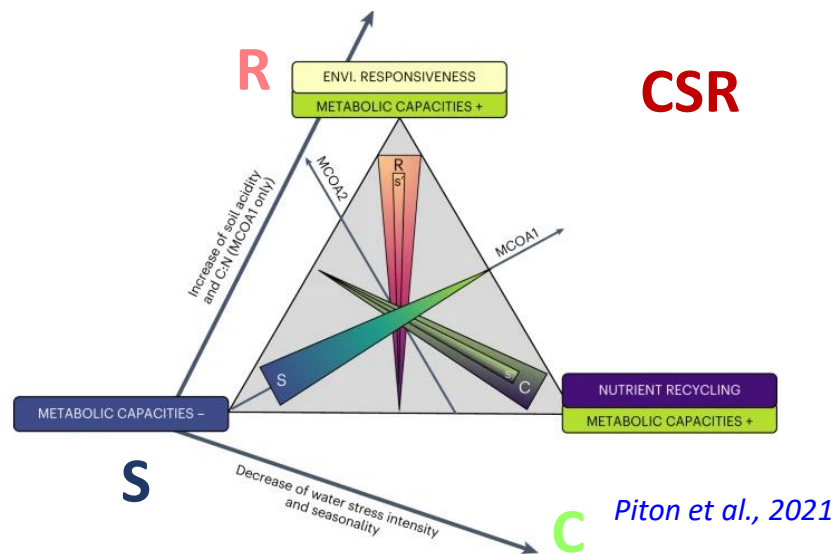
Таксономический состав грибных сообществ почв также кластеризовался по типам землепользования и глубине

Таким образом, тип землепользования определяет не только содержание пулов ПОВ и его химический состав, но и таксономическую структуру сообществ почвенных прокариот и грибов

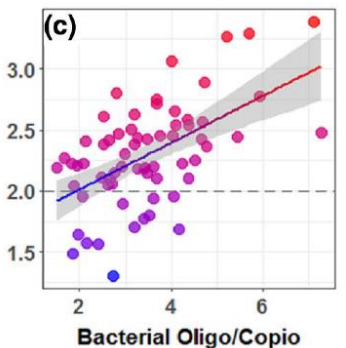
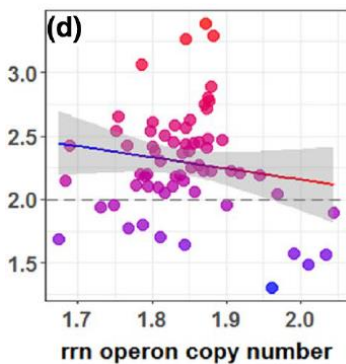
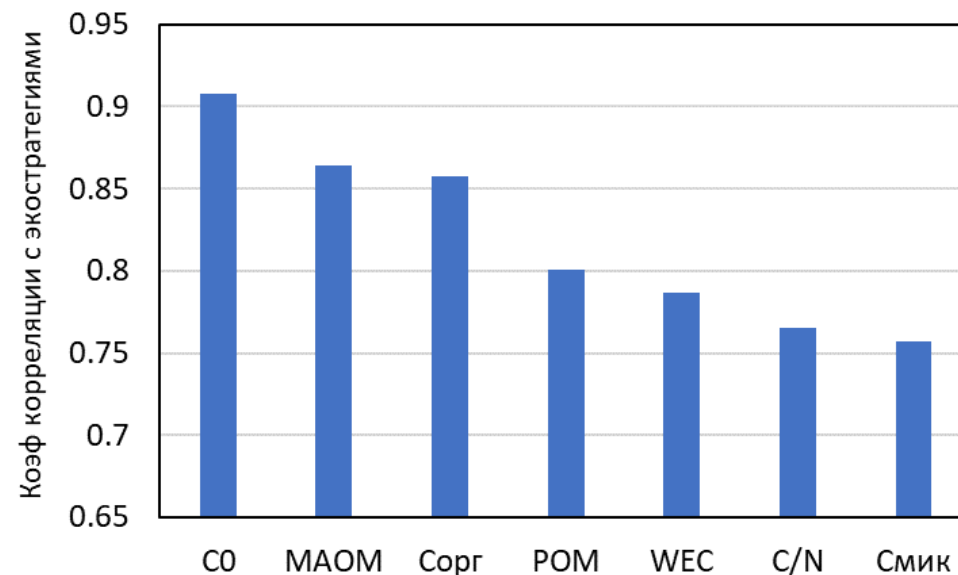
# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ И ИХ СВЯЗЬ С СОСТОЯНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ



Malik et al., 2020

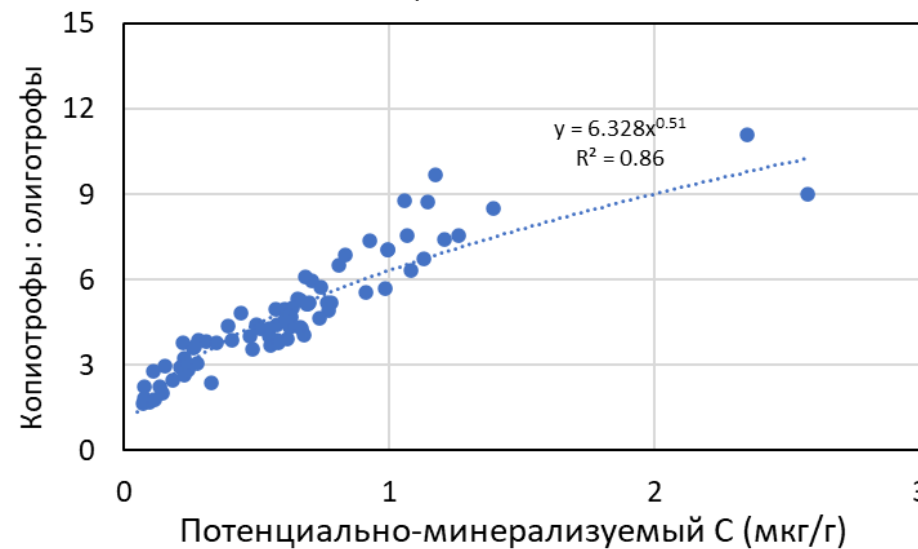


Piton et al., 2021



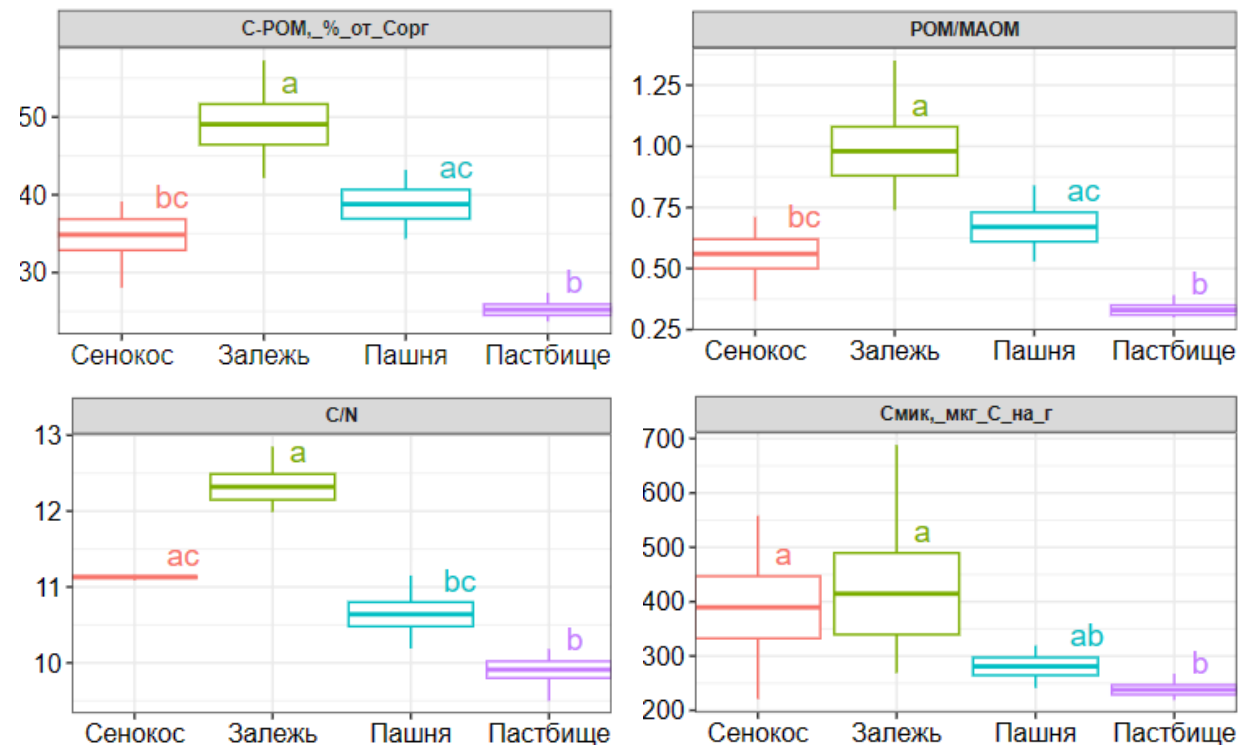
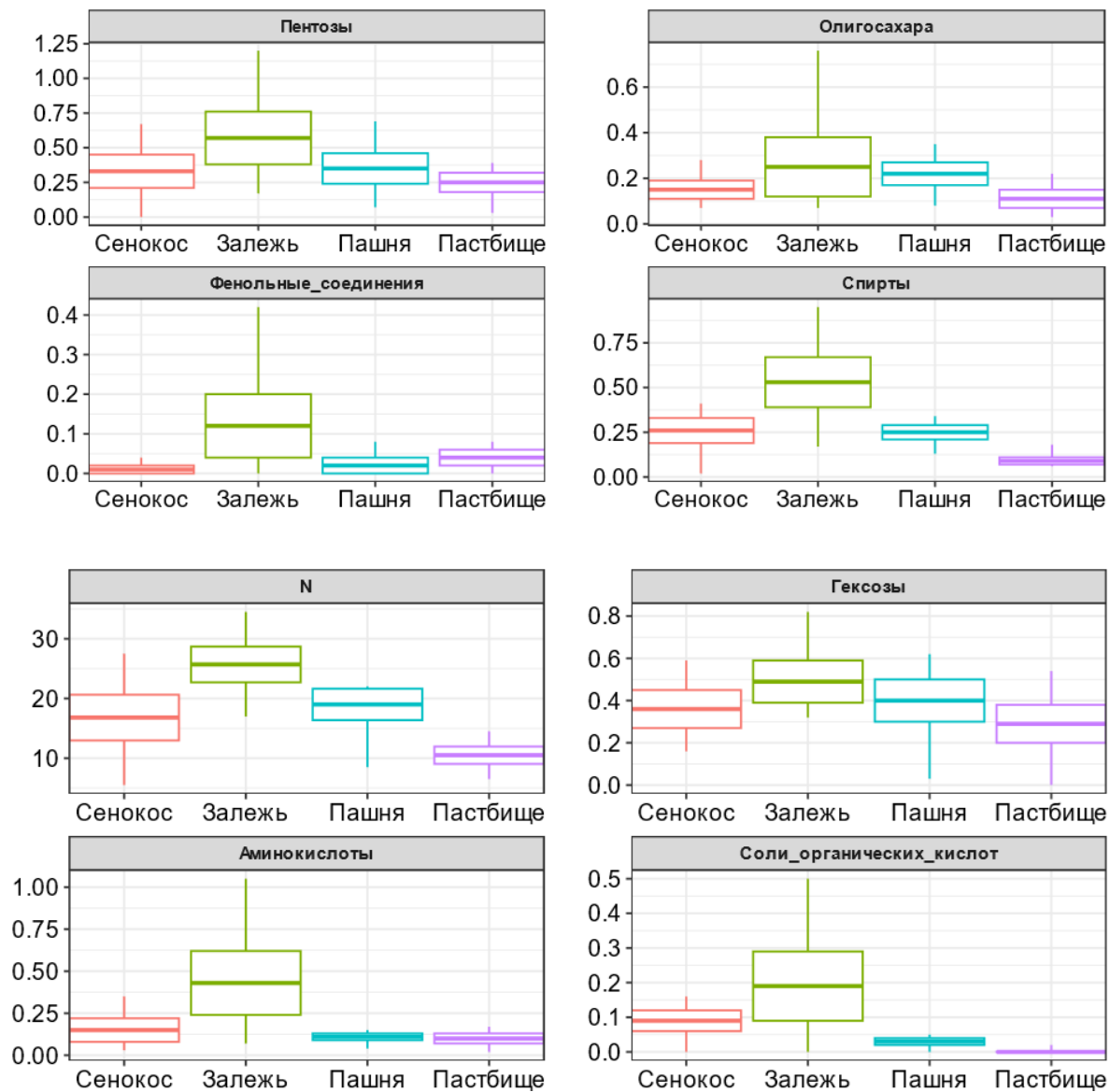
Li et al., 2021

Стратегия	Филум	Класс
Копиотрофы	Bacteroidota	<i>Bacteroidia</i>
	Proteobacteria	<i>Alphaproteobacteria</i>
		<i>Gamma proteobacteria</i>
	Bacillota	<i>Bacilli</i>
	Actinomycetota	<i>Actinobacteria</i>
<i>Acidimicrobiia</i>		
<i>Thermoleophilia</i>		
Олиготрофы	Acidobacteriota	<i>Acidobacteriae</i>
		<i>Holophagae</i>
	Chloroflexota	<i>KD4-96</i>
Methylomirabilota (NC-10)	<i>Methylomirabilia</i>	



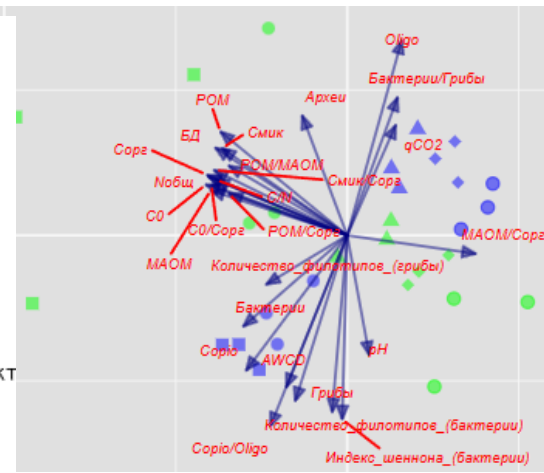
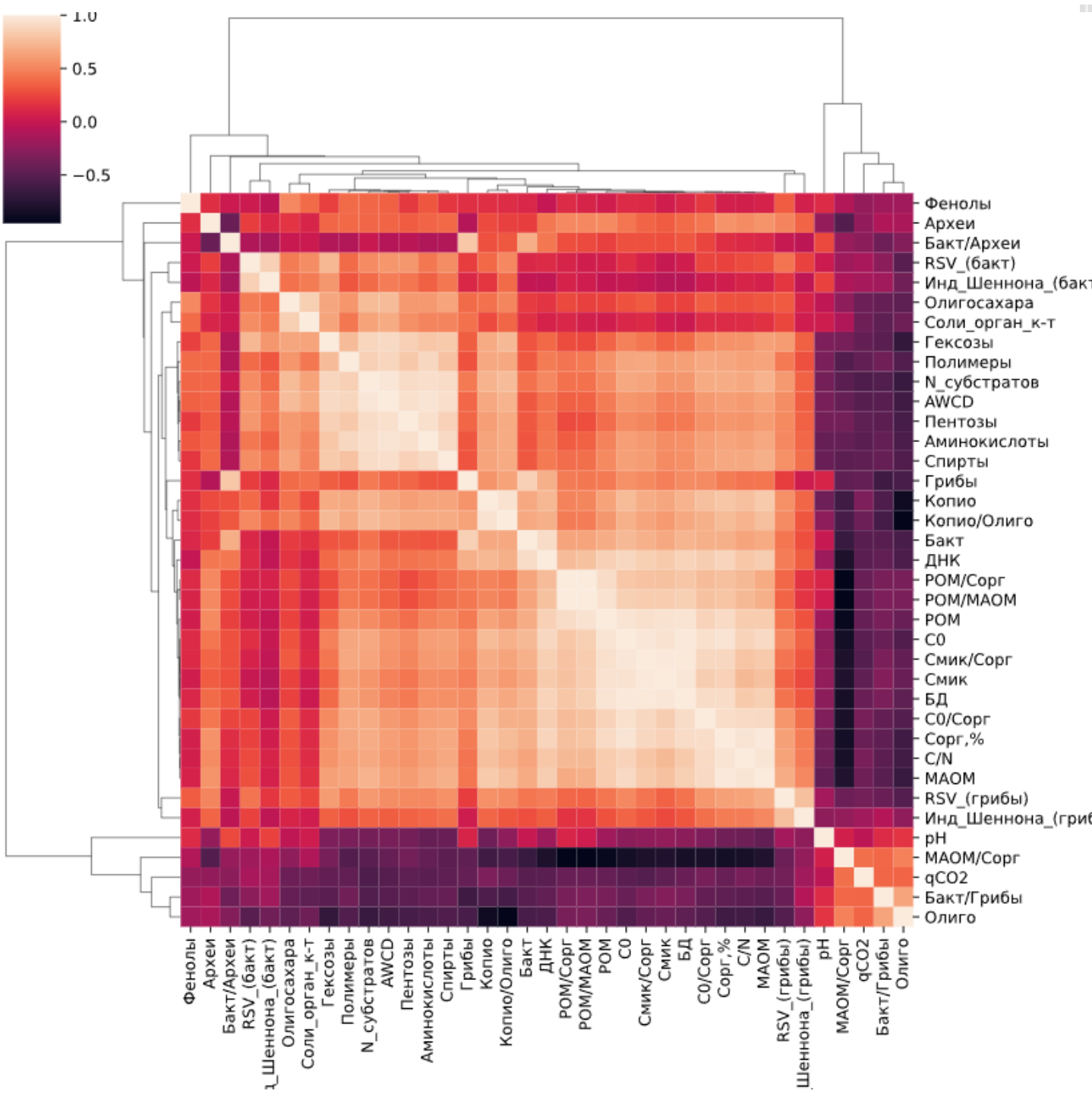
Соотношение таксонов копиотрофов и олиготрофов определяется содержанием потенциально-минерализуемого углерода

## Активность потребления микроорганизмами разных групп органических субстратов (всего 48)



Наибольшая микробиологическая активность в отношении трансформации органических соединений выявлена в почве залежи. Отношение C/N, содержание пула POM и отношение POM/МАОМ имеют схожий тренд и лучше описывают микробиологическую активность по сравнению с общей микробной биомассой





**МАОМ/Сорг** характеризовался тесной положительной корреляцией с отношением бактерии:грибы,  $qCO_2$ , численностью олиготрофов, и отрицательной связью с долей копиотрофов, микробного дыхания, активности потребления органических субстратов, физиологического разнообразия. Таким образом, высокий МАОМ/Сорг означает высокий уровень закрепления С и его низкую доступность для микробного разложения. Напротив, **РОМ/Сорг** и **РОМ/МАОМ** положительно коррелировали с отношением грибы:бактерии, копиотрофы: олиготрофы и микробной активностью

Физиологические характеристики почвенного микробиома

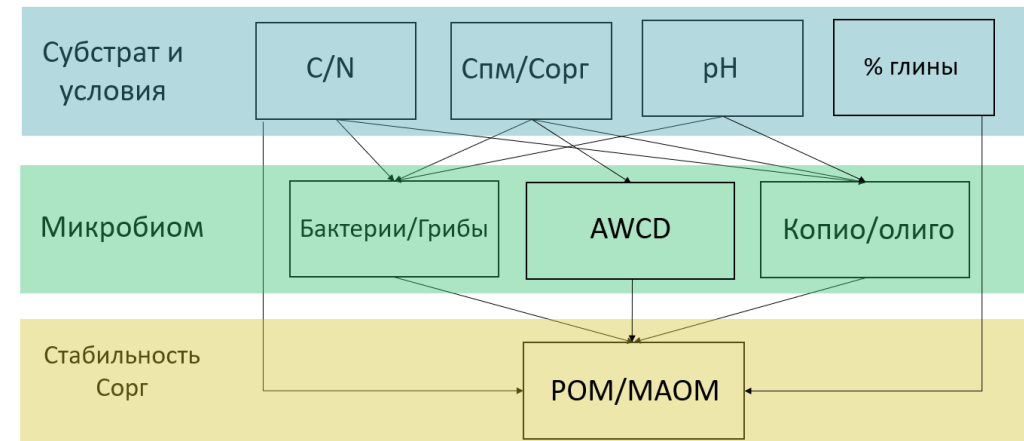
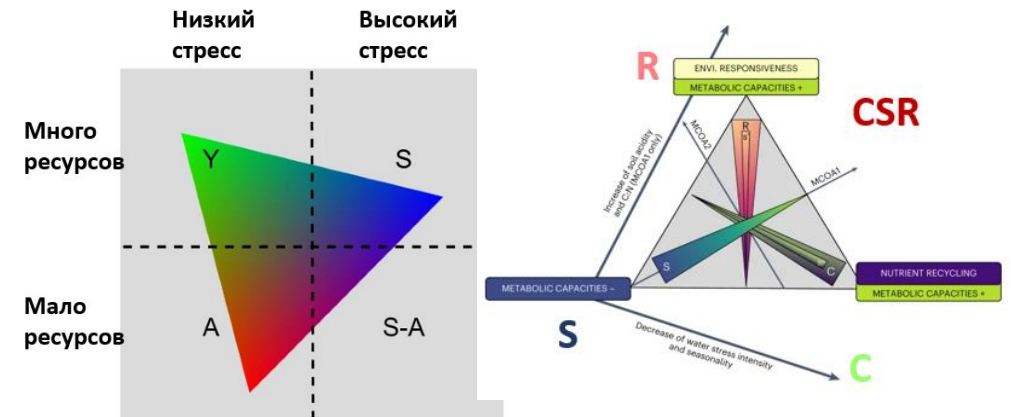
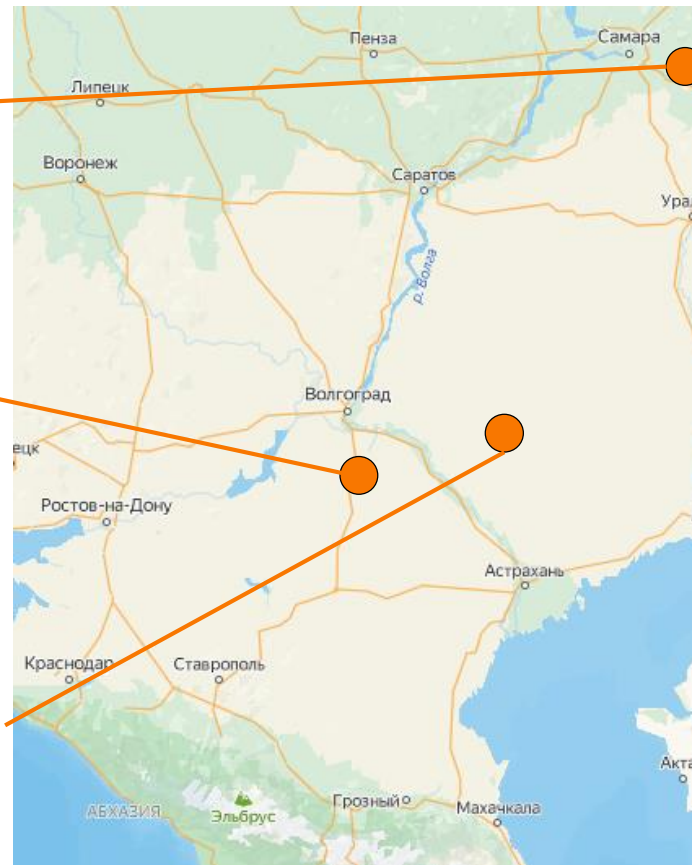
Пулы ПОВ и генетические показатели почвенного микробиома

Молекулярный состав и маркеры трансформации ПОВ

Самарская обл.  
Чернозем типичный (Самарская)  
Глубина: от поверхности до 40 см  
Традиционная обработка, no-till

Ростовская обл.  
Чернозем обыкновенный  
Глубина: от поверхности до 40 см  
Залежь, традиц. обработка, no-till

Волгоградская обл.  
Каштановая почва  
Глубина: от поверхности до 40 см  
Залежь, пашня,  
наличие/отсутствие орошения



## По теме госзадания в 2023 году опубликовано 8 статей и 2 главы в Международной энциклопедии почв

1. Semenov M., Li H., Luo Y., Deng Y., Kuzyakov Y. (2023). Microbial regulation of soil carbon cycling in terrestrial ecosystems. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1295624.
2. Semenov M.V. (2023). Soil Archaea. In: Encyclopedia of Soils in the Environment, Second Edition (Eds. Goss, M., Oliver, M.). Hardcover ISBN: 9780128229743
3. Semenov M.V. (2023). Soil Bacteria. In: Encyclopedia of Soils in the Environment, Second Edition (Eds. Goss, M., Oliver, M.). Hardcover ISBN: 9780128229743
4. Semenov M.V., Nikitin D.A., Ksenofontova N.A., Tkhakakhova A.K., Lukin S.M. (2023). Microbiological indicators of soddy-podzol soil and rhizosphere in a half-century field experiment with different fertilizer systems. *Eurasian Soil Science*, 56(6), 1-22.
5. Семенов М.В., Железова А.Д., Ксенофонтова Н.А., Иванова Е.А., Никитин Д.А. (2023). Куриный помет как органическое удобрение: технологии компостирования и влияние на почвенные свойства (обзор). *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*, 115. 160-198.
6. Nikitin D.A., Semenov M.V., Ksenofontova N.A., Tkhakakhova A.K., Rusakova I.V., Lukin S.M. (2023). Effect of Fresh Organic Matter of Straw on Microbiological Parameters of Soddy-Podzolic Soil. *Eurasian Soil Science*, 56(5), 49-62.
7. Semenov V.M., Lebedeva T.N., Sokolov D.A., Zinyakova N.B. Lopez de Guereñu V.O., Semenov M.V. (2023). Measurement of soil organic carbon pools isolated by bio-physico-chemical fractionation methods. *Eurasian Soil Science*, 2023, 9. 1155-1172.
8. Semenov V.M., Lebedeva T.N., Zinyakova N.B., Sokolov D.A., Semenov M.V. (2023). Eutrophication of Arable Soil: A Comparative Effect of Mineral and Organic Fertilizers Systems. *Eurasian Soil Science*, 56(1), 49-62.
9. Khitrov N.B., Nikitin D.A., Ivanova E.A., Semenov M.V. (2023). Changeability of characteristics of soil organic matter: an analytical review. *Eurasian soil science*, 12.
10. Степанов А.Л., Манучарова Н.А., Никитин Д.А., Семенов М.В. (2023). Достижения и перспективы развития почвенной микробиологии в Московском университете. *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. № 4.

Check for updates

### OPEN ACCESS

EDITED AND REVIEWED BY  
Paola Grenni,  
National Research Council, Italy

\*CORRESPONDENCE  
Mikhail Semenov  
✉ mikhail.v.semenov@gmail.com  
Hui Li  
✉ huili@iae.ac.cn

RECEIVED 16 September 2023  
ACCEPTED 16 October 2023  
PUBLISHED 30 October 2023

CITATION  
Semenov M, Li H, Luo Y, Deng Y and  
Kuzyakov Y (2023) Editorial: Microbial  
regulation of soil carbon cycling in terrestrial  
ecosystems. *Front. Microbiol.* 14:1295624.  
doi: 10.3389/fmicb.2023.1295624

COPYRIGHT  
© 2023 Semenov, Li, Luo, Deng and Kuzyakov.  
This is an open-access article distributed under  
the terms of the Creative Commons Attribution  
License (CC BY). The use, distribution or  
reproduction in other forums is permitted,  
provided the original author(s) and the  
copyright owner(s) are credited and that the  
original publication in this journal is cited, in  
accordance with accepted academic practice.  
No use, distribution or reproduction is  
permitted which does not comply with these  
terms.

## Editorial: Microbial regulation of soil carbon cycling in terrestrial ecosystems

Mikhail Semenov<sup>1\*</sup>, Hui Li<sup>2\*</sup>, Yu Luo<sup>3</sup>, Ye Deng<sup>4</sup> and  
Yakov Kuzyakov<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Soil Carbon and Microbial Ecology, Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia, <sup>2</sup>CAS Key Laboratory of Forest Ecology and Management, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, China, <sup>3</sup>Institute of Soil and Water Resources and Environmental Science, Zhejiang Provincial Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Zhejiang University, Hangzhou, China, <sup>4</sup>CAS Key Laboratory of Environmental Biotechnology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, <sup>5</sup>Department of Soil Science of Temperate Ecosystems, Department of Agricultural Soil Science, University of Göttingen, Göttingen, Germany, <sup>6</sup>Agro-Technological Institute, Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russia

### KEYWORDS

soil microorganisms, carbon storage and sequestration, organic matter decomposition, carbon-climate feedbacks, metagenomics, ecological modeling, greenhouse gas emission

### Editorial on the Research Topic

Microbial regulation of soil carbon cycling in terrestrial ecosystems

### Funding

The author(s) declare financial support was received for the research, authorship, and/or publication of this article. This work was funded by the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, titled the Study of Microbial Drivers of Sequestration and Storage of Organic Carbon in Soils of Agroecosystems (No. 0439-2022-0018) and the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.



ФГБНУ ФИЦ «ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА»

# ЛАБОРАТОРИЯ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА И МИКРОБНОЙ ЭКОЛОГИИ



## О нас

Научная деятельность лаборатории направлена на исследование микробных драйверов секвестрации и депонирования органического углерода в агроэкосистемах. Лаборатория проводит мониторинг структуры пулов почвенного углерода в ряду разных систем сельскохозяйственного землепользования. На основе полученных результатов сотрудниками лаборатории разрабатываются рекомендации по минимизации эмиссионных потерь углерода и увеличения объемов его депонирования агробиотехнологическими приемами. Также в задачи новой молодежной лаборатории входит привлечение молодых ученых, аспирантов и выпускников ВУЗов для исследований в области почвенного углерода, подготовка новых кадров и обеспечение преемственности проводимых исследований.



ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
имени В.В. Докучаева

Лаборатория Почвенного углерода и микробной экологии основана в **Почвенном институте им. В.В. Докучаева** в 2022 году в рамках национального проекта «Наука и университеты» по направлению «климатические исследования».

Заведующим лабораторией является кандидат биологических наук Семенов Михаил Вячеславович.

ЗАЦИЯ ВИП ГЗ «ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛ  
ТЕМА МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕС  
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ – 2023»

Конференция «Углерод  
в наземных  
экосистемах:  
мониторинг.  
Реализация ВИП ГЗ  
«Единая национальная  
система мониторинга  
климатически активных  
веществ – 2023 г.»  
(Москва, 13-15  
февраля 2024 г.)  
05.02.2024

МОСКВА, 13-15 ФЕВРАЛЯ 2024

Applied Soil Ecology  
Volume 193, January 2024, 105152

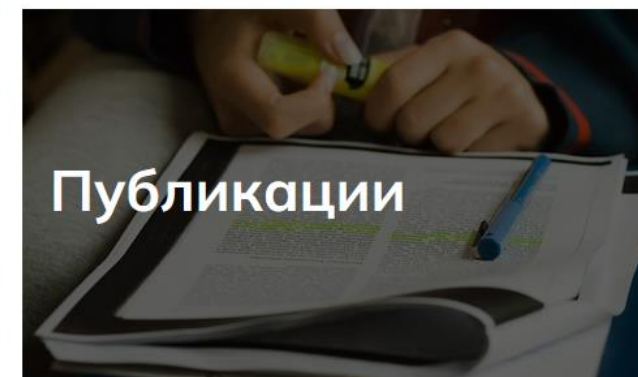
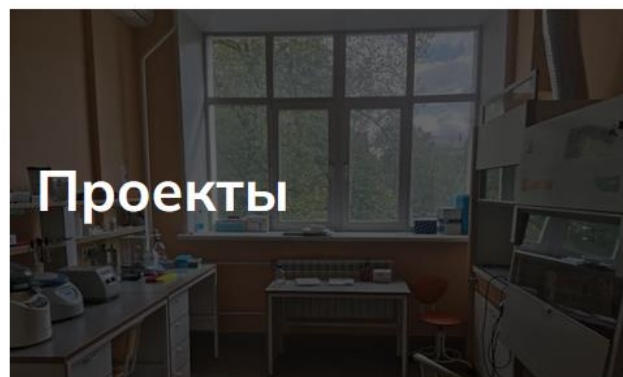
В журнале Applied Soil  
Ecology вышла статья  
«Effects of distinct  
manure amendments on  
microbial diversity and  
activity in Chernozem  
and Retisol»  
Kseniya A. Kiseleva<sup>a</sup>, Natalia A. Ksen  
gova<sup>a</sup>, Dmitry A. Nikitin<sup>a</sup>, Mikh  
a

Carbon and Microbial Ecology, Dokuchaev S  
ussian Federation  
Biochemical and Biological Problems in Soil Sc  
egion, Russian Federation  
Genomic Research, Engelhardt Institute of M  
ces, Moscow 119991, Russian Federation

vised 9 September 2023, Accepted 6 October

Лаборатория  
почвенного углерода и  
микробной экологии  
представила годовой  
отчет по теме  
госзадания  
«Исследование  
микробных драйверов  
секвестрации и  
депонирования  
органического  
углерода в почвах  
агроэкосистем»  
20.12.2023

## Исследования



<https://ecosoil-lab.ru/>



**ЛАБОРАТОРИЯ**  
ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА И  
МИКРОБНОЙ ЭКОЛОГИИ

**РИТМ**  
УГЛЕРОДА



**ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ В.В. ДОКУЧАЕВА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНЫХ ДРАЙВЕРОВ  
СЕКВЕСТРАЦИИ И ДЕПОНИРОВАНИЯ  
ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ АГРОЭКОСИСТЕМ**

зав. лаб., к.б.н. Семенов М.В.

[semenov\\_mv@esoil.ru](mailto:semenov_mv@esoil.ru)  
<https://ecosoil-lab.ru/>