

Повлияют ли инвазии эндогейных дождевых червей на ОВП?

Можно ли заменить дождевых червей представителями той же экологической группы?

Голованова Елена,
Унру Дарья,
Руди Виолетта,
Бабий Кирилл,
Сморкалов Иван ,
Князев Станислав

Как инвазии дождевых червей влияют на экосистемы и экосистемные функции?

Распространение инвазий

видов из Рудного Алтая (Казахстан)

около 30 лет



европейских видов

около 200 лет



Golovanova et al., 2021

Golovanova et al., 2024

ПРЕДЫСТОРИЯ

[Повлияют ли инвазии эндогейных дождевых червей на ОВП?](#)

Основные вопросы

1. Различается ли влияние аборигенного и инвазивных видов на ОВП?
2. Зависит ли это от длительности воздействия?
3. Если разница в вертикальном распределении ОВП и его качественном составе?
4. Влияет ли взаимодействие видов на количественный и качественный состав ОВП?

Схема эксперимента

Варианты

Параметры

Моновидовые

Дивидовые

Три видовой

Контроль

ОВП, %

ИК-спектры почв

Эмиссия CO₂

Аборигенный
E. n. pallida

Инвазивный из Европы
A. caliginosa

Инвазивный из Рудного Алтая
E. tracta

E. n. p.
+ *A. c.*

E. n. p.
+ *E. t.*

E. t. +
A. c.

E. n. p.
+ *E. t.*
+
A. c.

Наличие/
отсутствие
функциональных
групп

Спиков ИК-спектров



Repeated Measures ANOVA test,
Factorial ANOVA

Материалы и методы исследования



а - почвенный разрез
лугово-черноземных почв
на экспериментальной
площадке;
б - экспериментальная
площадка

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОВП



Качественный анализ ОВП
ИК-спектрометрия
(Тарасевич, 2012; Редькин, 2019)



ОВП, %
Фотометрия
ГОСТ 26213-2021

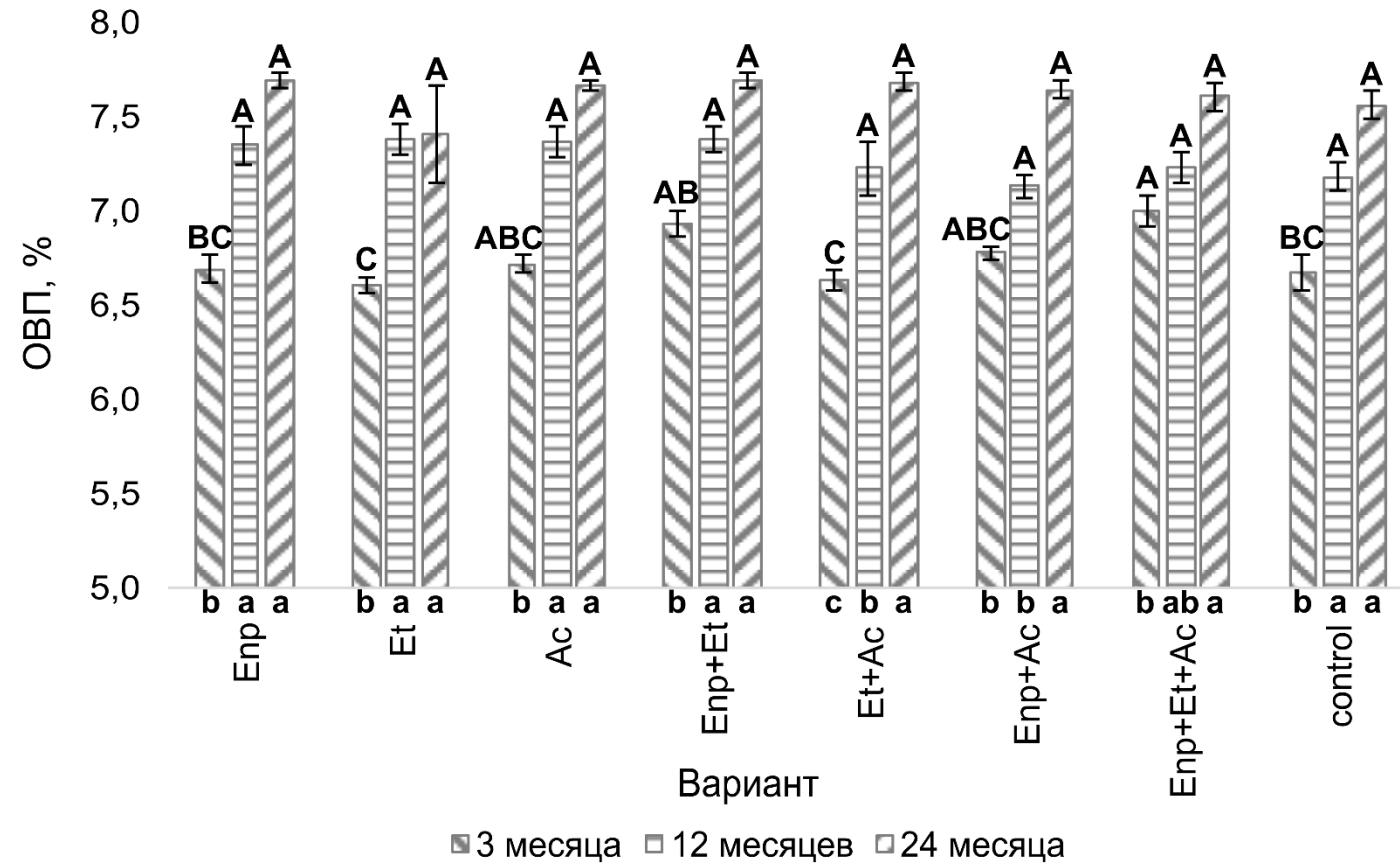


Измерение эмиссии углерода



Камерный метод,
с помощью
автоматического
инфракрасного
газоанализатора LI-COR
8100A
Работы выполнены И.
Сморкаловым (ИЭРиЖ
Уро РАН) в рамках НИР

ОВП в горизонте А лугово-чернозёмных почв под влиянием различных видов дождевых червей

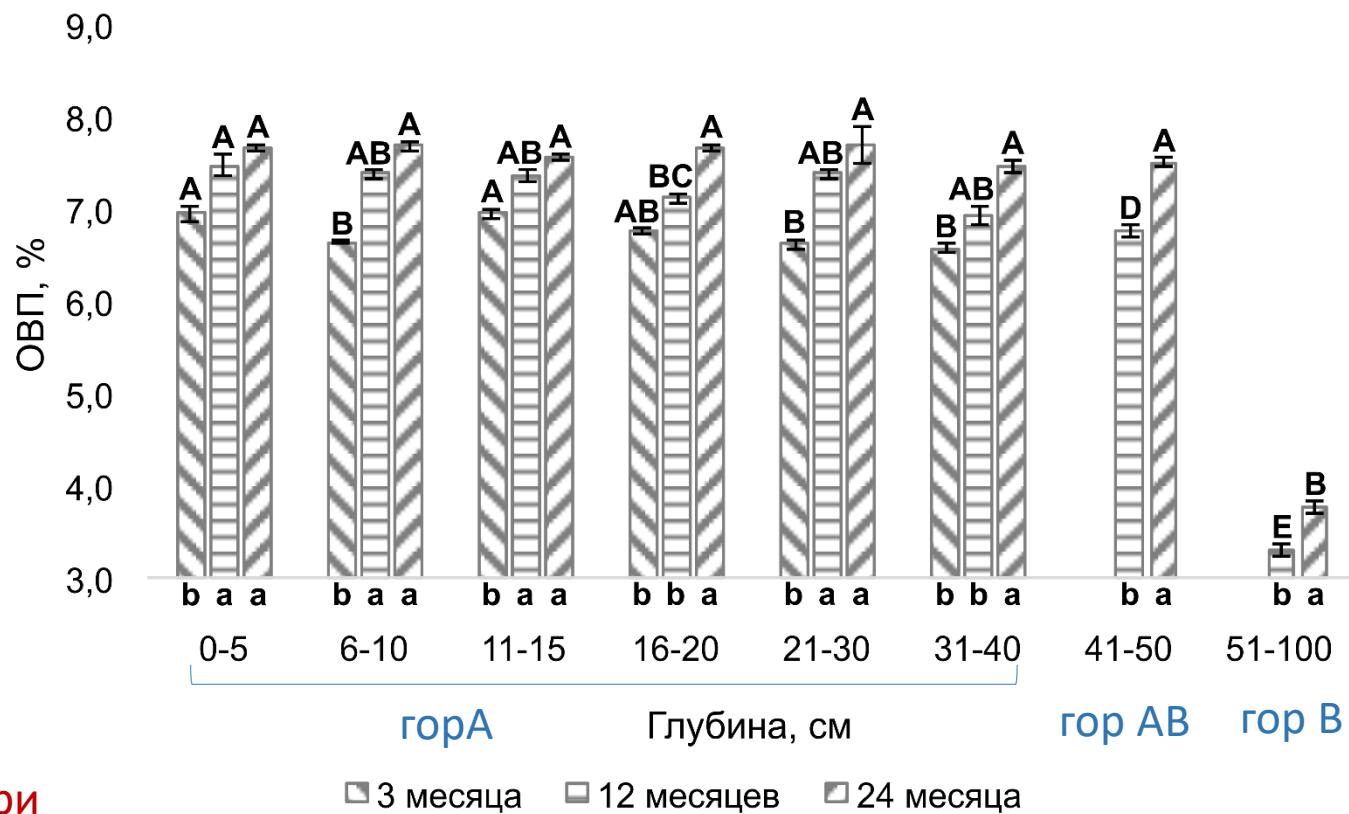


Значимые отличия между
сериями внутри варианта
обозначены разными
строчными буквами,
Значимые различия между
вариантами внутри серии
обозначены разными
ПРОПИСНЫМИ буквами
(Repeated Measures ANOVA
test, Tukey HSD test)

Влияние видов выравнивается, начиная с 12 месяцев исследований

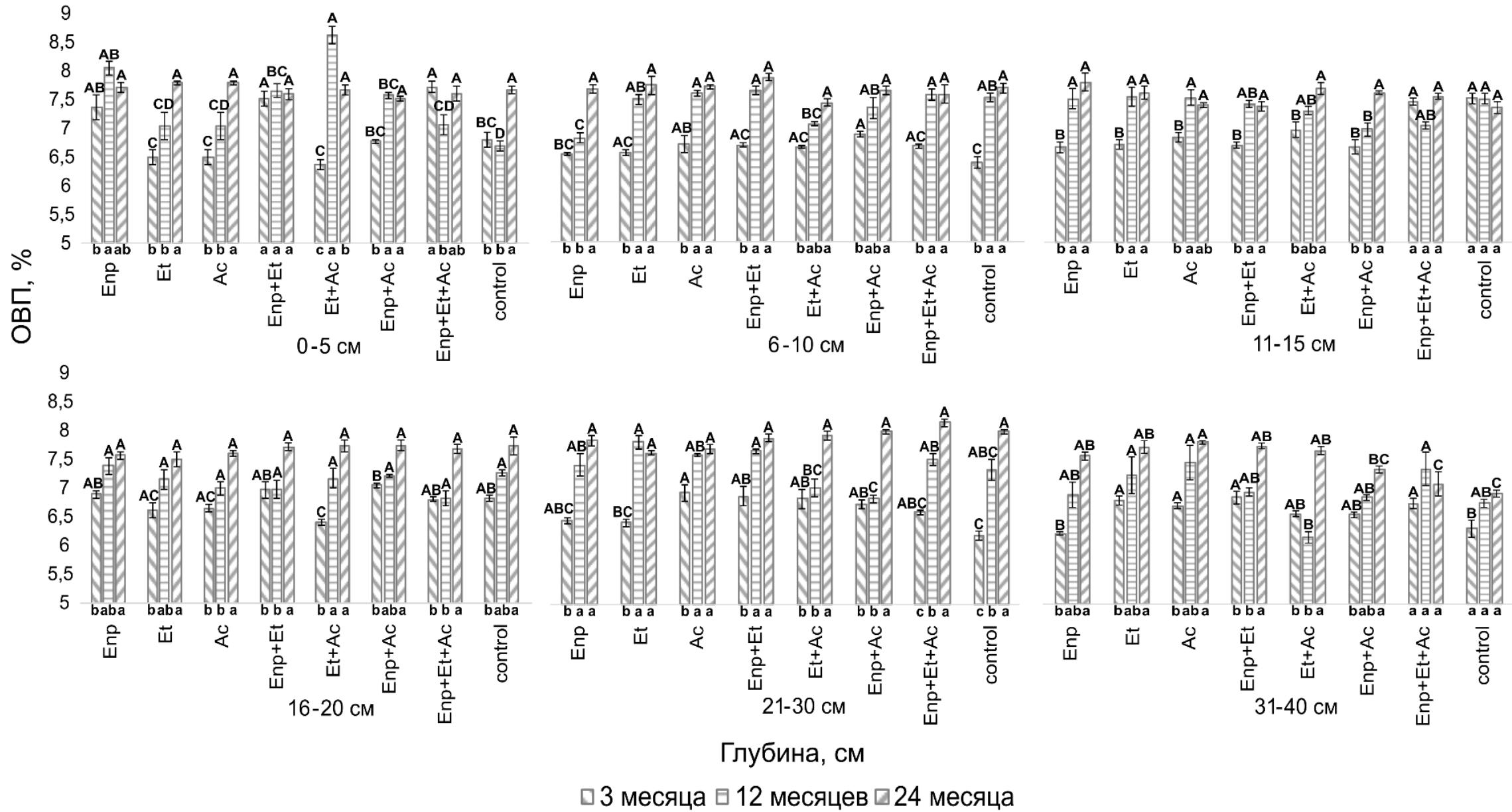
Значимые отличия между
сериями внутри варианта
обозначены разными
строчными буквами,
Значимые различия между
вариантами внутри серии
обозначены разными
ПРОПИСНЫМИ буквами

Вертикальная неоднородность распределения ОВП лугово-чернозёмных почв (calcic chernozems)



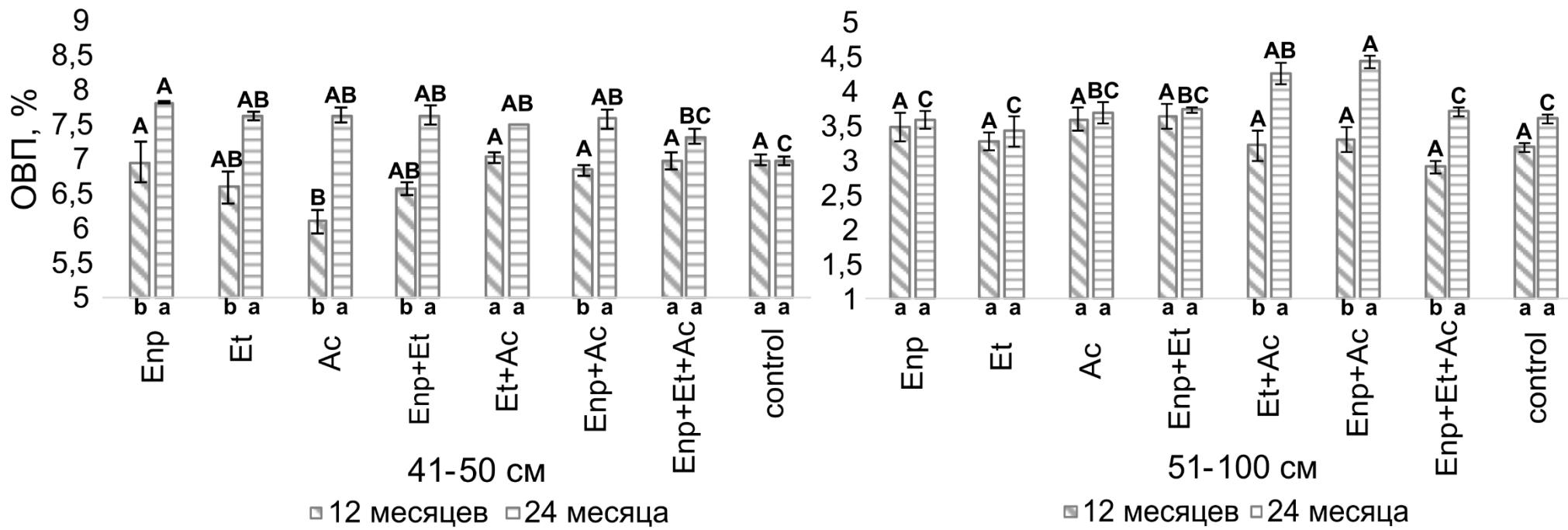
Распределение ОВП неоднородно внутри
горизонта,
поэтому мы рассматриваем послойно
аккумулятивный горизонт А,
хотя.... через 24 месяца выравнивается...

ОВП в горизонте А лугово-чернозёмных почв по слоям



Да, выравнивается даже при послойном рассмотрении, но через 2 года

ОВП в горизонте АВ и В лугово-чернозёмных почв по слоям

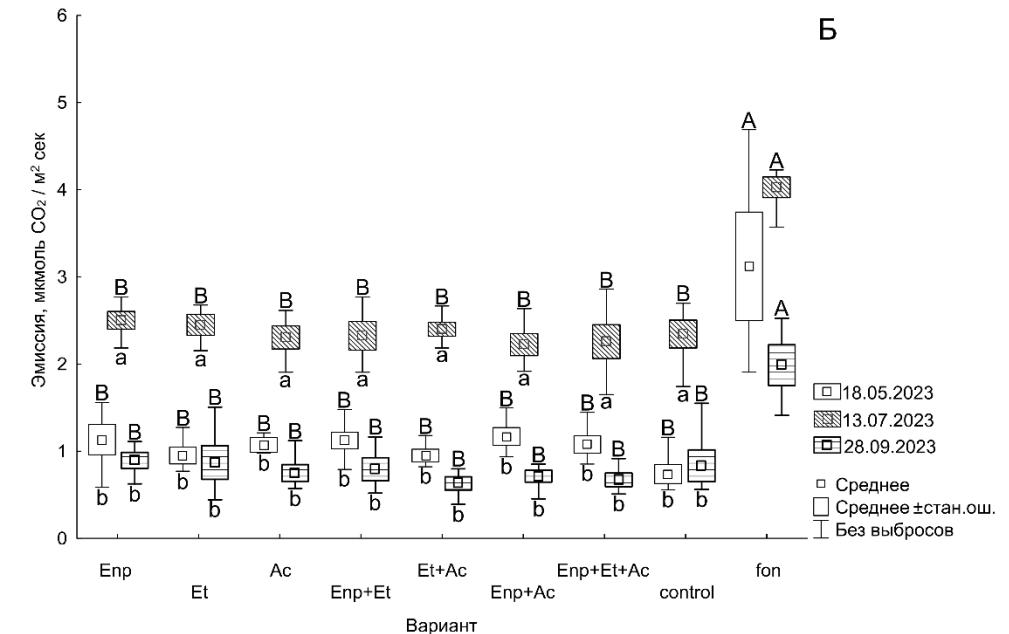
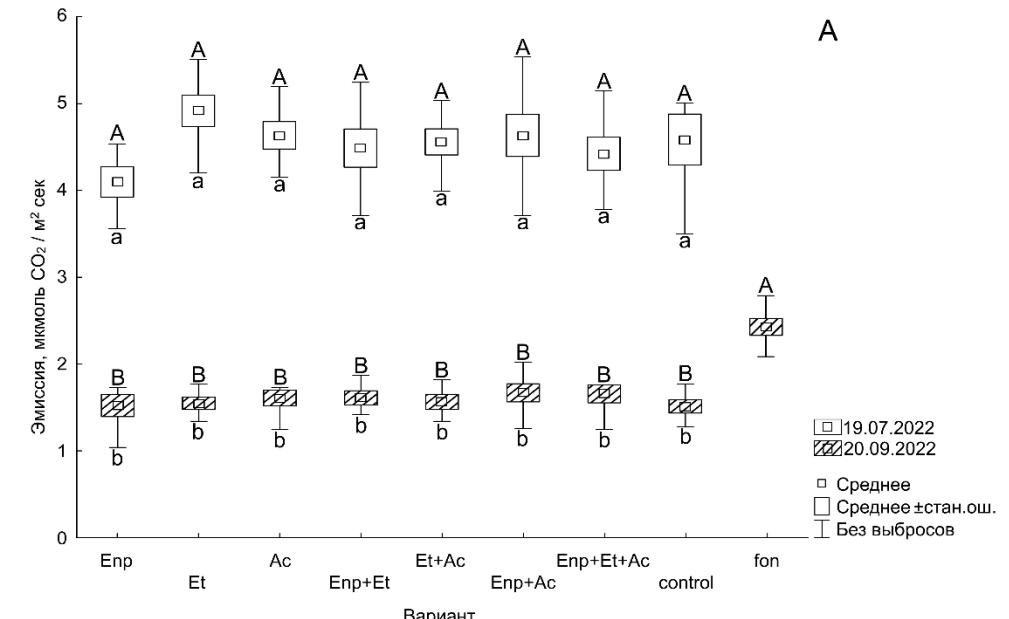


Различия остаются только в горизонтах АВ и В

ЭМИССИЯ CO_2

Значимые отличия между измерениями
внутри варианта обозначены разными
строчными буквами,
Значимые различия между вариантами
одного измерения обозначены разными
ПРОПИСНЫМИ буквами

И дело не в активности микроорганизмов



Качественный состав ОВП (годовой эксперимент)

Наличие/отсутствие пиков

Статистическая обработка данных ИК-спектров

Красным выделены
значимые результаты при
 $p \leq 0,05$

- Статистическая обработка полученных данных ИК-спектрометрии проводилась в Statistica 13.

Effect	Univariate Tests of Significance for 670,6					
	SS	Degr. of	MS	F	p	
Enp	0	1	0	1	0,2538	
Et	1	1	1	9	0,0035	
Ac	1	1	1	9	0,0035	
Enp*Et	0	1	0	3	0,1111	
Enp*Ac	0	1	0	1	0,2538	
Et*Ac	1	1	1	6	0,0130	
Enp*Et*Ac	2	1	2	15	0,0002	
Error	18	112	0			

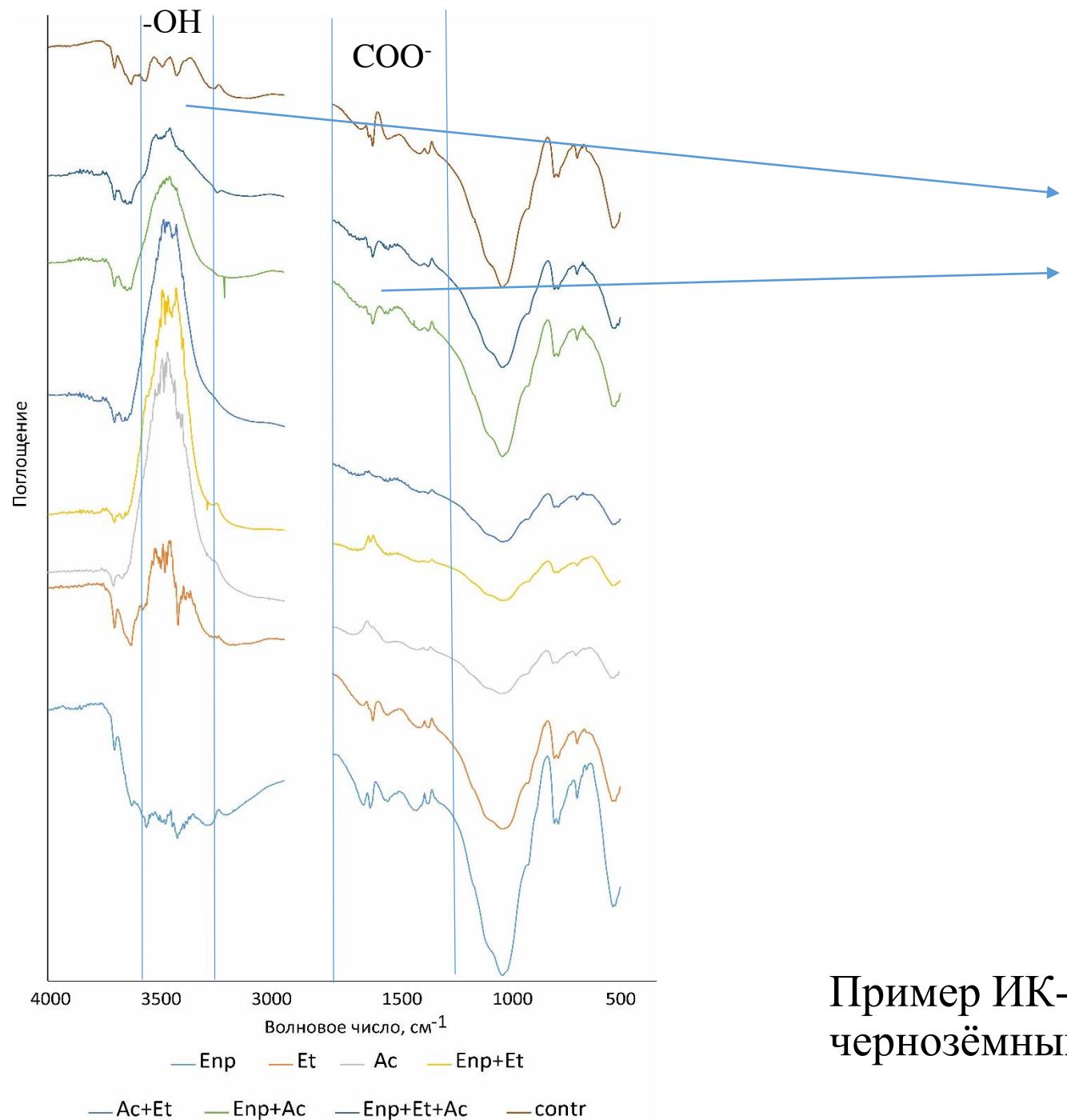
а

Результаты многофакторного анализа влияния видов дождевых червей на наличие пика в ИК-спектре почв

Cell No.	Tukey HSD test; variable 670,6											
	Enp	Et	Ac	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	
1	yes	no	no		0,0018	0,0001	0,0355	0,1180	0,0018	0,1180	0,0001	
2	yes	no	yes	0,0018		0,8660	0,9838	0,8660	1,0000	0,8660	0,8660	
3	yes	yes	no	0,0001	0,8660		0,3062	0,1180	0,8660	0,1180	1,0000	
4	yes	yes	yes	0,0355	0,9838	0,3062		0,9998	0,9838	0,9998	0,3062	
5	no	no	no	0,1180	0,8660	0,1180	0,9998		0,8660	1,0000	0,1180	
6	no	no	yes	0,0018	1,0000	0,8660	0,9838	0,8660		0,8660	0,8660	
7	no	yes	no	0,1180	0,8660	0,1180	0,9998	1,0000	0,8660		0,1180	
8	no	yes	yes	0,0001	0,8660	1,0000	0,3062	0,1180	0,8660	0,1180		

б

Результаты попарного сравнения вариантов с помощью теста Тьюки



Области пиков
гумусовых
кислот

Пример ИК-спектра верхнего слоя лугово-чернозёмных почв

В каком слое максимальное влияние оказывают различные виды дождевых червей?

Слой (см)	№ слоя	Горизонт	Количество значимых пиков ($p \leq 0,05$)			Вид	Слой внутри горизонта А	Пики ИК-спектров, специфические для вариантов ($p \leq 0,05$)
			<i>E. n. pallida</i>	<i>E. tracta</i>	<i>A. caliginosa</i>			
0-5	1	A	11/3	7/5	0	<i>E. tracta</i>	10-15 см	721,5*; 1394,9*; 1418,1; 1436,3*; 1473,9; 1623,8; 1636,2; 1653,1; 1669,4*; 1683,7*; 1698,9; 1716,1*; 1735,2; 1773,3; 1844,3*; 2814,2; 2885,3*; 3374,7*; 3415*; 3424,2*; 3448,8*
	2		2	6/2	11/8	<i>E. n. pallida</i>	20-30 см	1370,4; 1392,4; 1425,9; 1512,7; 1537,7; 1551; 1690,9; 1722,1; 1754,9; 1777,3; 1805,9*; 1833,9*; 1874,6; 2773,8; 2920,7*; 2928,7; 3062,4; 3140,6; 3269,1; 3400,5*; 3413,5*; 3420,9*; 3449,7*; 3453,5*; 3462,7*; 3485,3*; 3498,1*; 3503,6; 3534,6; 3549,5; 3623,5; 3634,2
	3		12/1	21/12	14/3	<i>A. caliginosa</i>	30-40 см	721,7; 1338,9; 1363,7; 1418,7; 1456,5*; 1473,5; 1489,3; 1521,8; 1580,4*; 1636,4*; 1647,8*; 1661,5*; 1732,3; 1771,2; 1827,2; 1844,7; 2823,2; 3139,5; 3270,2; 3444*; 3528,2; 3545,5; 3588,2; 3624,1; 3649,8
	4		18/7	2	13/1			
	5		32/11	12/8	14	<i>A. caliginosa</i>	30-40 см	721,7; 1338,9; 1363,7; 1418,7; 1456,5*; 1473,5; 1489,3; 1521,8; 1580,4*; 1636,4*; 1647,8*; 1661,5*; 1732,3; 1771,2; 1827,2; 1844,7; 2823,2; 3139,5; 3270,2; 3444*; 3528,2; 3545,5; 3588,2; 3624,1; 3649,8
	6		10/4	14/5	25/6			
40-50	7	AB	7/2	10/4	12/3			
50-100	8	B	9/2	8/1	15/6			

* - пики, характерные для гумусовых кислот

На какие функциональные группы влияют дождевые черви?

Слой	Пик, см ⁻¹	Функциональная группа	Соединение	<i>E. n. pallida</i>	<i>E. tracta</i>	<i>A. caliginosa</i>	Контроль	Взаимодействие
3	1394,9*	COO-	ГК	+	+	+	-	-
	1473,9	деформационные N+—H	Амины, соли аминов	+	+	+	-	-
	1636,2*	C=N	ГК	+	+	+	-	-
	2885,3	-OH, N ⁺ —H, NH ₃ ⁺	Карбоновые кислоты, Амины, соли аминов, аминокислоты	+	+	+	-	-
5	3269,1	R ₁ R ₂ NH, валентные NH ₂	Амины, амиды	+	+	+	-	E.n.p.+E.t.
7	1630,3*	C=N	ГК	+	+	+	-	-
	3120,6	валентные NH ₂	Амиды	+	+	+	-	-
	3269,6	R ₁ R ₂ NH, валентные NH ₂	Амины, амиды	+	+	+	-	-
	3445*	-OH	ГК	+	+	+	-	-
	3527,7	-OH	Карбоновые кислоты, спирты, фенолы	+	+	+	-	-
8	1655,8*	C=N	ГК	+	+	+	-	-

	Слой	Пик	Функциональная группа	Соединение	E.n.p. + E. t.	A. с. + E. t.	E.n.p. + A. с.	Control	Моноварианты
A	1	1425,9	COO ⁻	Соли карбоновых кислот	+	+	-	-	-
		1693,6			+	+	-	+	A.c.
		3488,7			+		+	-	+
	2	1415,3			-	+	+	+	E.t.
		1548,1			-	+	+	+	-
	3	1479,2			+	+	-	-	E.n.p.
		1778,8			+	+	-	-	E.n.p. (1), E.t.
	5	655,2			+	-	+	+(1)	-
		1400,7			-	+	+	+	-
		1564,5			-	+	+	-	E.n.p., E.t.
		1611,3*	C=C, C=O, COO ⁻	ГК	-	+	+	-	-
		1657,9*			+	+	+	-	E.t. (1)
AB	6	2791	-OH, N ⁺⁻ H, NH ₃ ⁺	Карбоновые кислоты, соли аминов, амнокислоты	+	+		-	-
		669,4			-	+	+	+	+
		1598,4			-	+	+	-	E.n.p., E.t. (1)
		3620,9			+	+	+	+	A.c. (1)
	7	768,3				+	+	-	+
		2768	-OH, N ⁺⁻ H, NH ₃ ⁺	Карбоновые кислоты, соли аминов, амнокислоты		+	+	-	-
B	8	1629,9			+	+	+	+(1)	A.c., E.t. (1)
		1639,1			+	+	-	-	E.n.p. (1), E.t. (1)
		2389,8	NH ₃ ⁺	Аминокислоты	+	+	-	-	-
		3553,4			+	+	-	-	E.t. (1)

На что влияет
взаимодействие
видов?

В дивариантах
появлялись новые пики
по сравнению с
моновариантами и
контролем (1425,9 в 1
слое, 1611,3 и 2791 в 5
слое, 2768 в 7 слое,
2389,8 в 8 слое)

При взаимодействии какой вид оказывает влияние на ОВП?

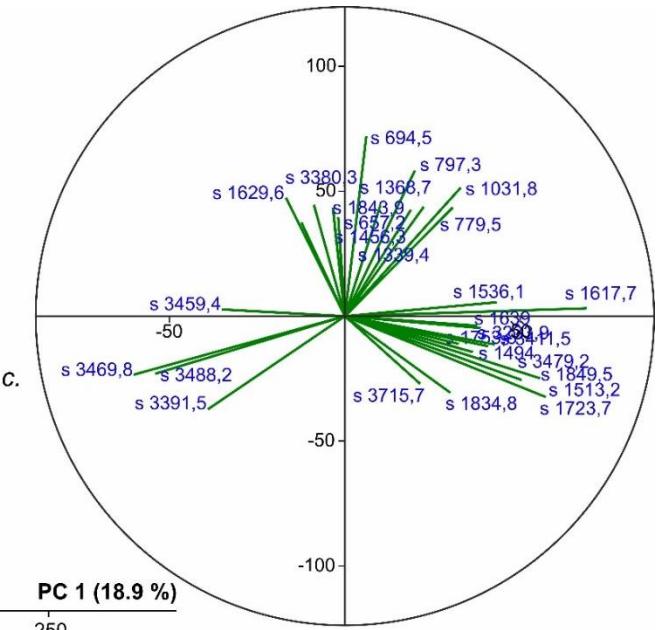
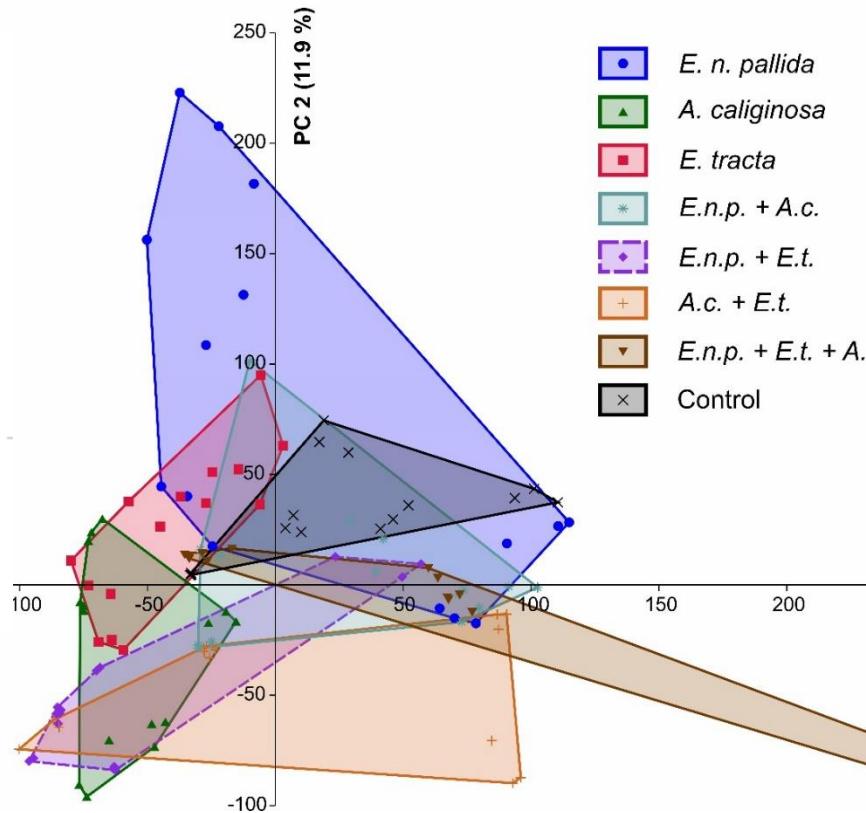
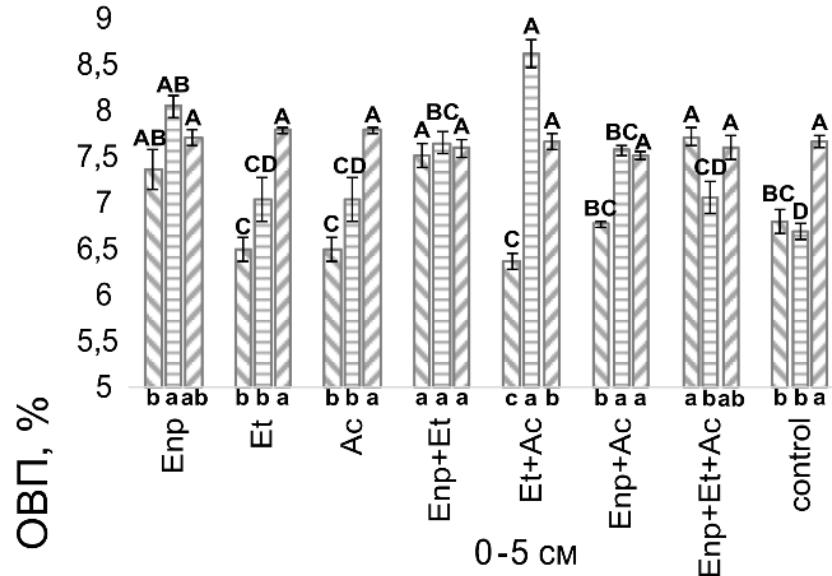
Вариант	Количество одинаковых пиков по их встречаемости	Пик, см ⁻¹
Диварианты		
Enp	12	669,5*; 1425,9*; 1551*; 1572,1*; 1655,4*; 1690,7*; 1722,1; 1777,5; 1854; 3269,1*; 3400,7*; 3549
Ac	11	1338,5; 1425,9*; 1461,7*; 1479,8*; 1655,4*; 1722,1; 3269,1*; 3296*; 3436,6*; 3444*; 3475*
Et	6	669,5*; 1400,7*; 1655,4*; 3269,1*; 3436,6*; 3468,5*
Триварианты		
Enp +(Enp+Et+ Ac)	6	1370; 1384,8; 1551*; 1655,4*; 1722,1; 2920,1
Et +(Enp+Et+ Ac)	1	1400,7*
Ac +(Enp+Et+ Ac)	5	1461,7*; 1479,8*; 1655,4*; 1722,1; 3444*
У всех +(Enp+Et+ Ac)	1	1655,4*

Количество общих пиков
между моновариантами и
дивариантами

Качественный состав ОВП (годовой эксперимент)

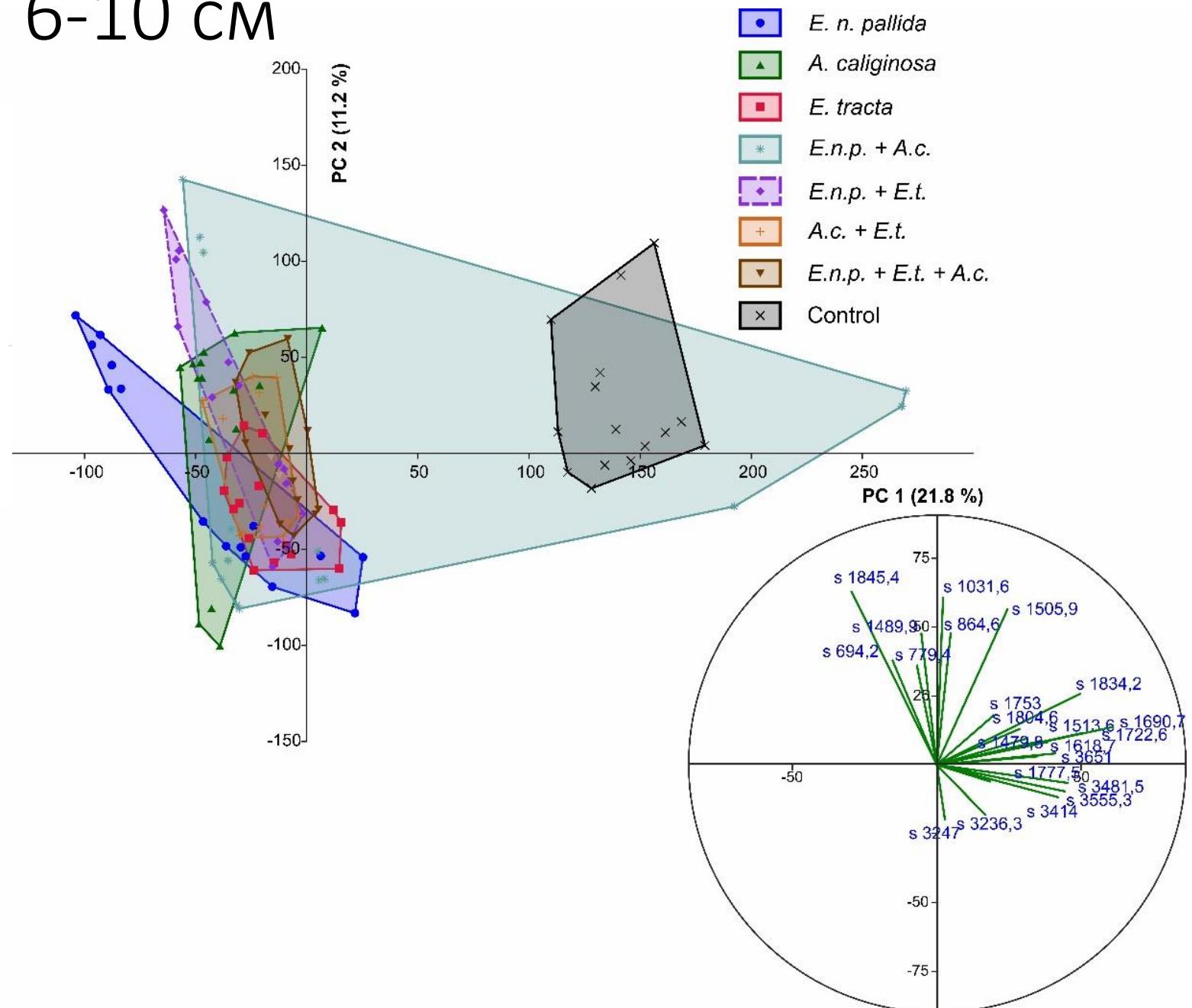
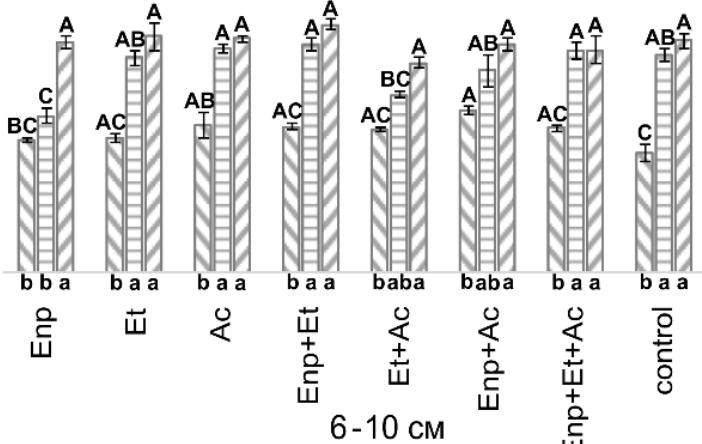
Площади пиков

Горизонт А, слой 0-5 см



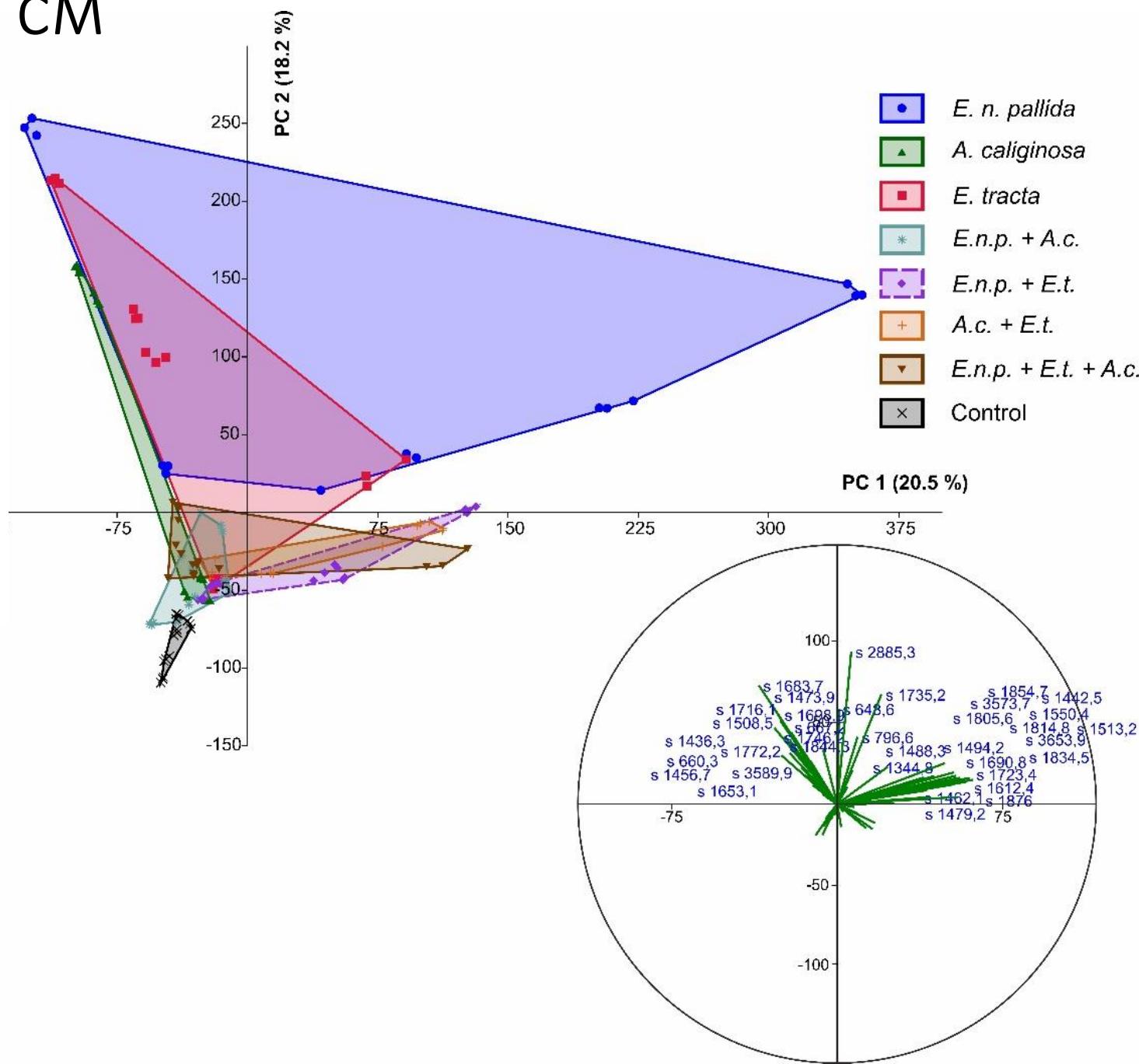
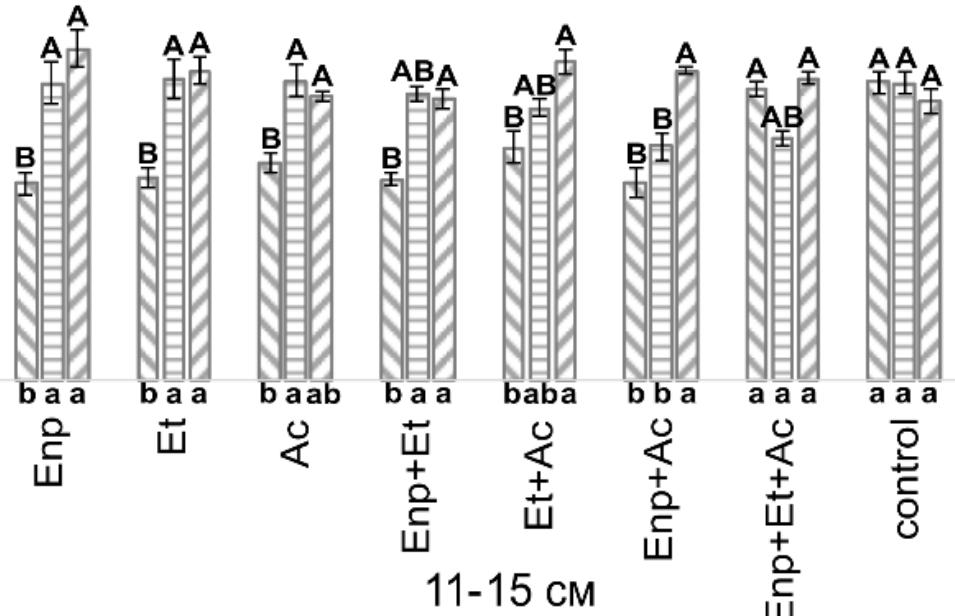
Различия влияния видов и их взаимодействия на качественный и количественный состав

Горизонт А, слой 6-10 см

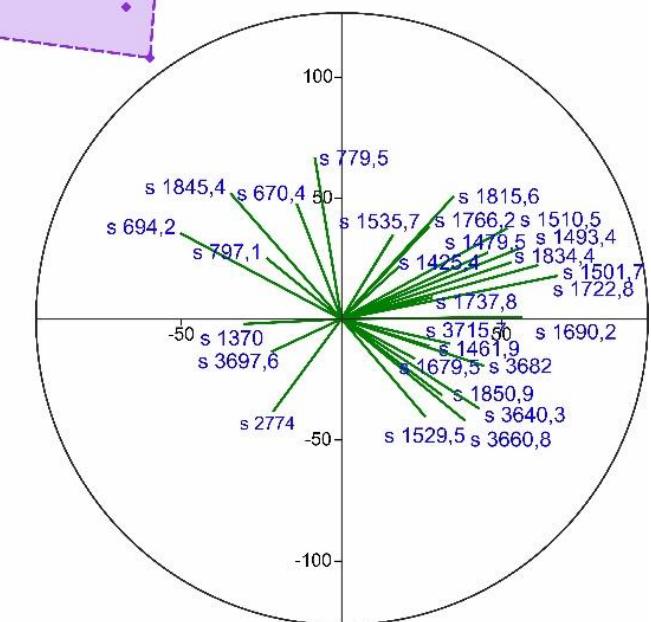
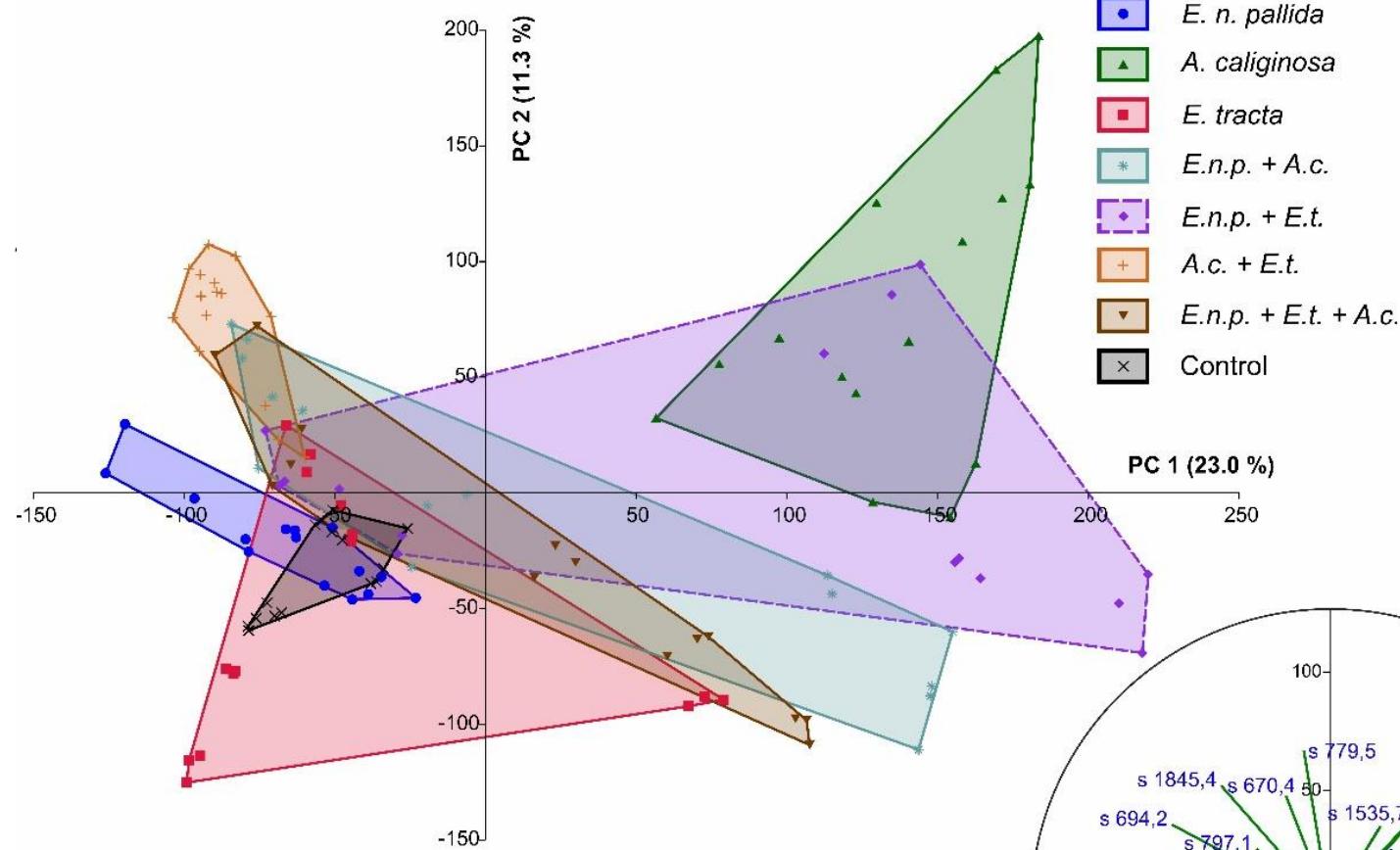
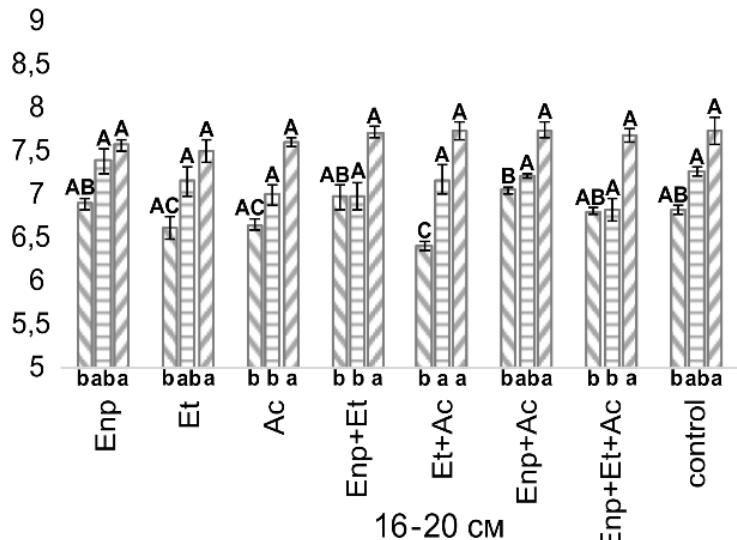


И в этом слое тоже

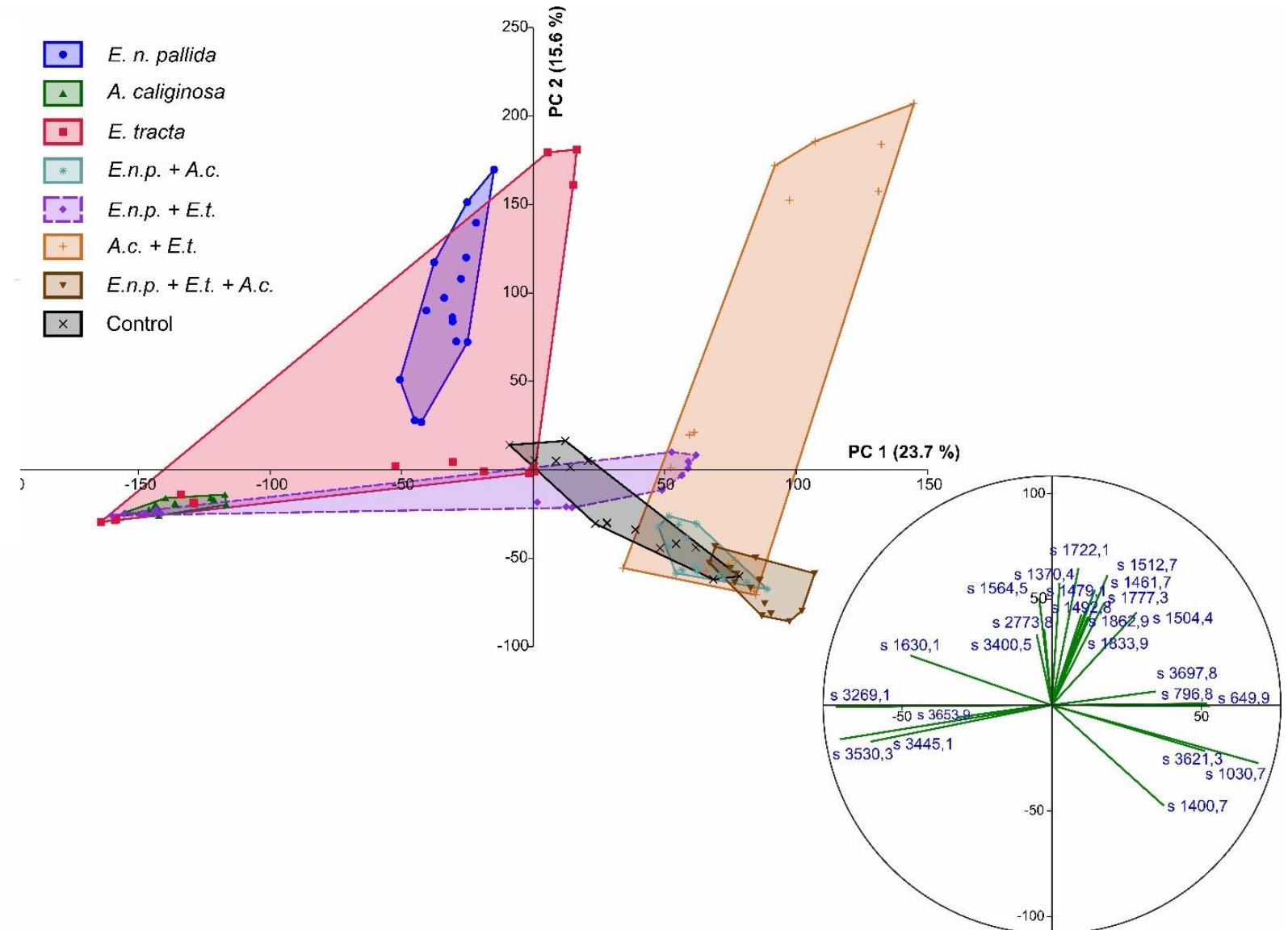
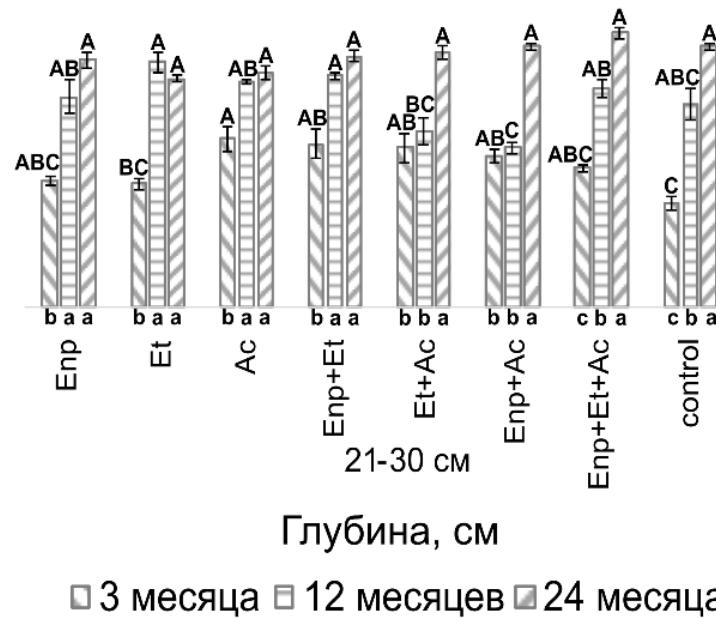
Горизонт А, слой 10-15 см



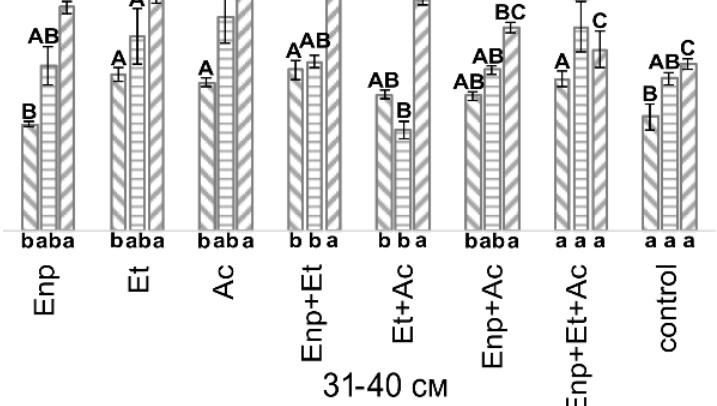
Горизонт А, слой 15-20 см



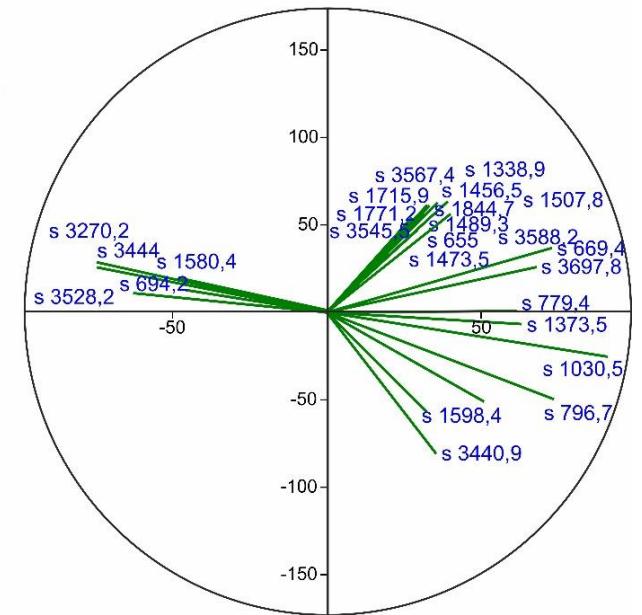
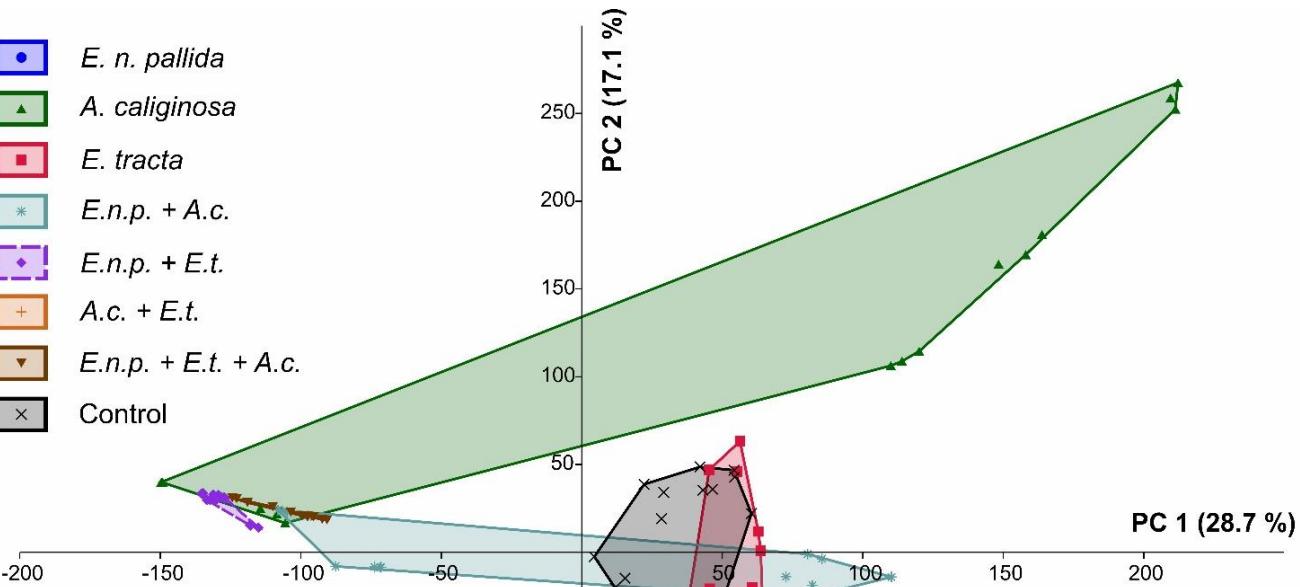
Горизонт А, слой 20-30 см



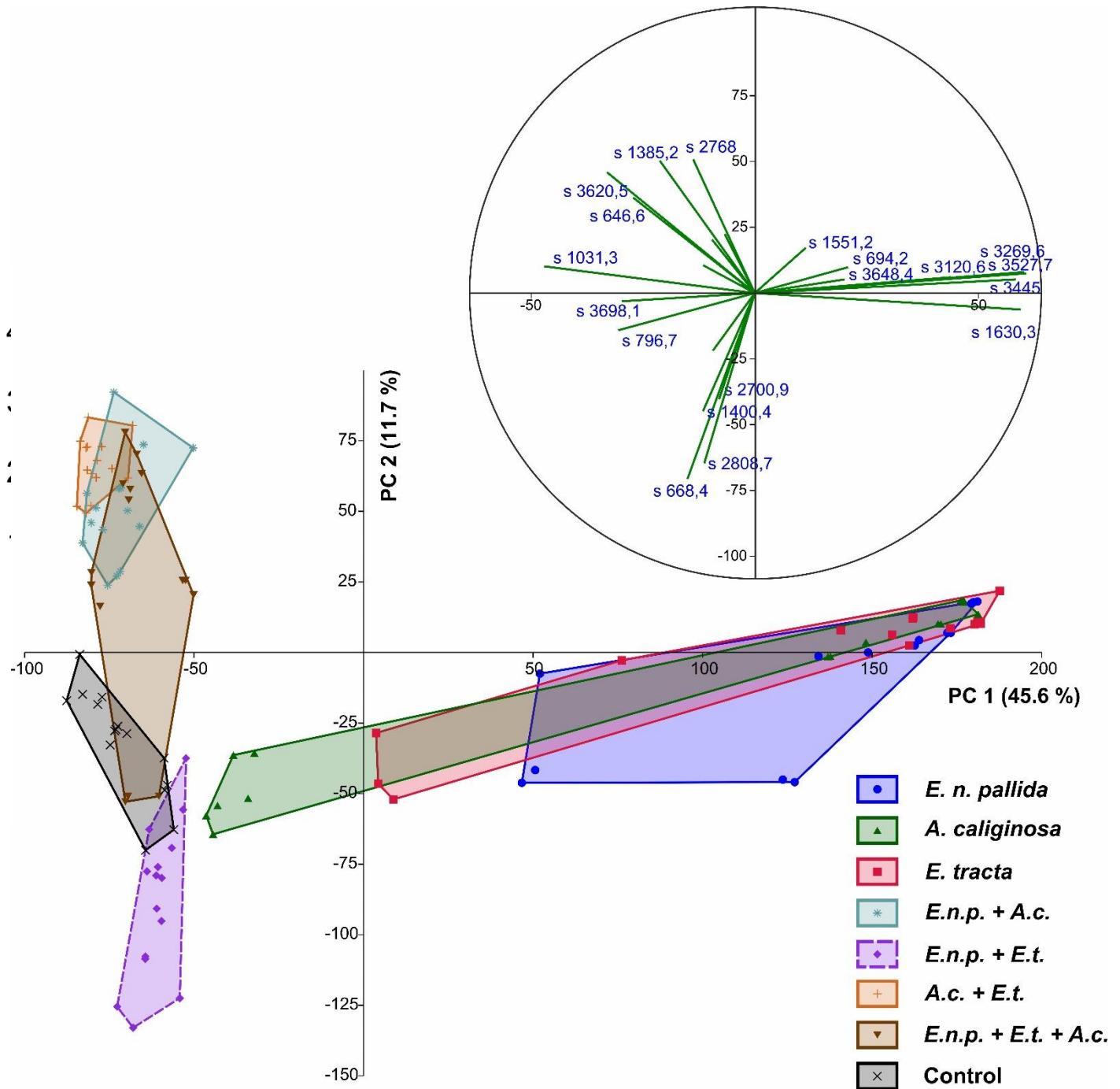
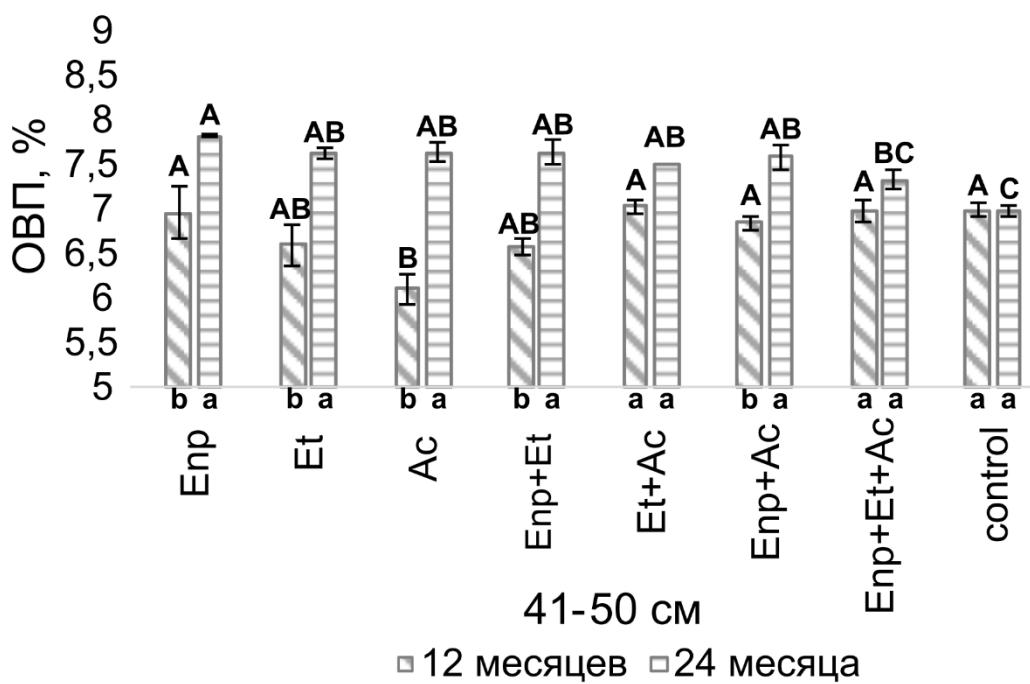
Горизонт А, слой 30-40 см



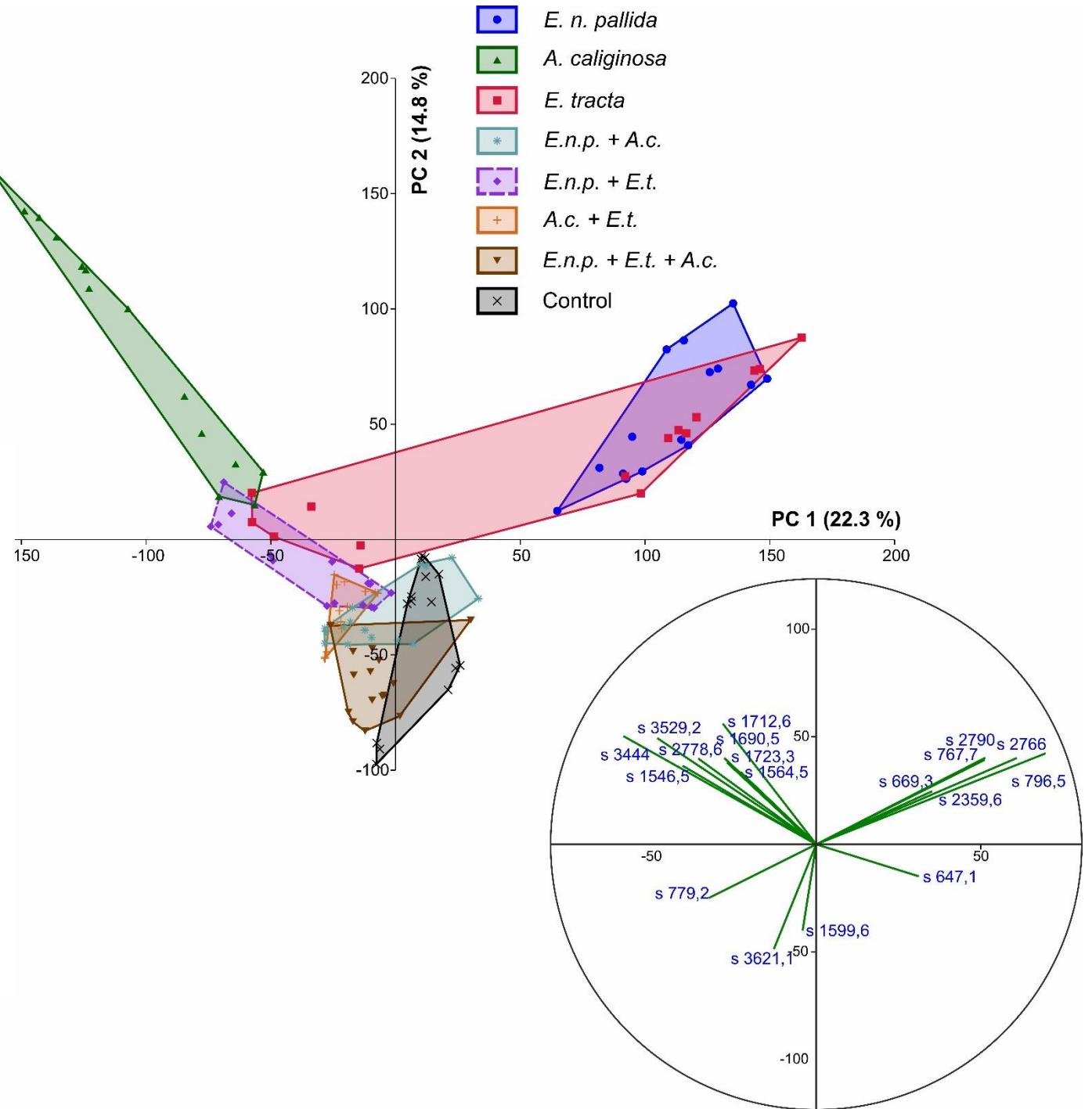
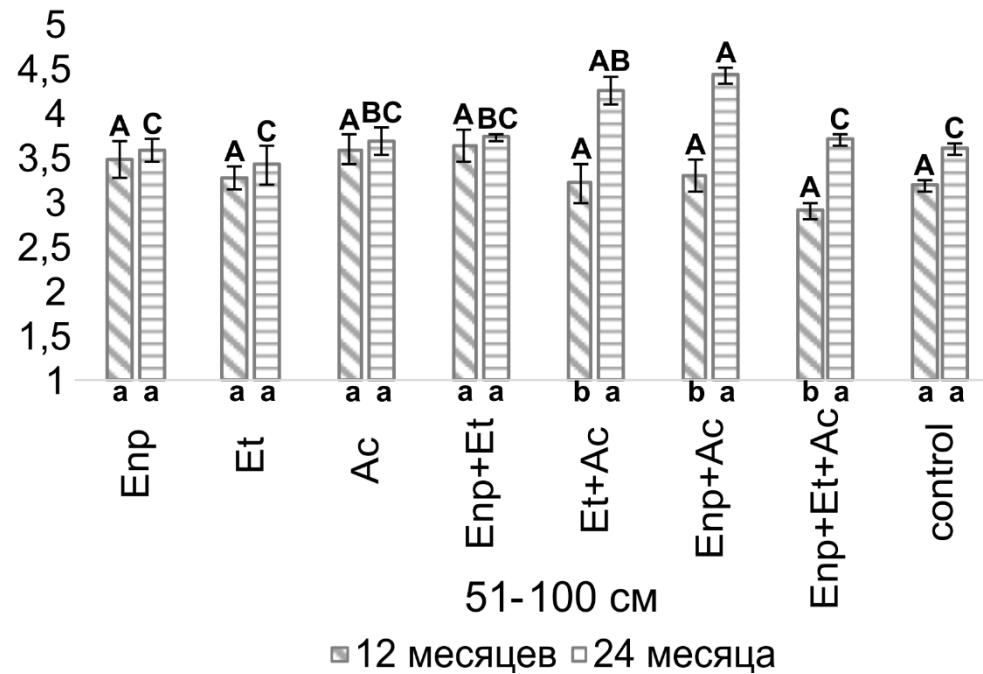
- *E. n. pallida*
- ▲ *A. caliginosa*
- *E. tracta*
- * *E.n.p. + A.c.*
- ◆ *E.n.p. + E.t.*
- + *A.c. + E.t.*
- ▼ *E.n.p. + E.t. + A.c.*
- ✗ Control



Горизонт АВ, 41-50 см



Горизонт В, 51-100 см



Основные вопросы

1. Различается ли влияние аборигенного и инвазивных видов на ОВП?
2. Зависит ли это от длительности воздействия?
3. Есть ли разница в вертикальном распределении ОВП и его качественном составе?
4. Влияет ли взаимодействие видов на количественный и качественный состав ОВП?

	да	нет
Различается ли влияние аборигенного и инвазивных видов на ОВП?	+	
Зависит ли это от длительности воздействия?	+	
Если разница в вертикальном распределении ОВП и его качественном составе?	+	
Влияет ли взаимодействие видов на количественный и качественный состав ОВП?	+	

Выводы по качественному составу ОВП



1. Слой и горизонт значимо влияет на качественный состав органического вещества почв. Пиков, общих для всех слоёв не отмечено. Каждому пику, в основном, соответствует значимое влияние своего варианта и своего слоя. Для нижних слоев характерны 1655,4 (C=N) и 3475 (-OH). Гумусовые кислоты присутствуют даже в нижних горизонтах во всех вариантах эксперимента.
2. Вертикальное распределение качественного состава органического вещества под действием различных видов дождевых червей специфично. *E. n. pallida* значимо влияет на максимальное количество пиков в слое 20–30 см, *E. tracta* – в слое 10–15 см, *A. caliginosa* – 30–40 см.
3. Дождевые черви влияют на более широкий спектр органики, чем принято считать в литературных источниках. Кроме влияния на пики, соответствующие гумусовым кислотам, было отмечено значимое влияние варианта эксперимента, на пики других органических соединений: кислородсодержащих и азотсодержащих, не исключено, что в процессе разложения могли образовываться и промежуточные соединения.
4. Влияние инвазивного вида *A. caliginosa* и аборигенного вида по встречаемости пиков при взаимодействии видов одинаково.

Заключение

Инвазии дождевых червей изменят качественный состав органического вещества почв и его распределение по слоям.

Виды незаменимы внутри одной экологической группы



- Грант РНФ 25-14-20073

