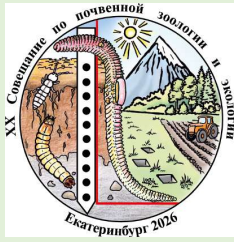


XX Совещание по почвенной зоологии и экологии

г. Екатеринбург, 14-18 сентября 2026



Функциональная избыточность или недостаточность: восстановилась ли за 100 лет после распашки люмбрикофауна в национальном парке «Смоленское Поозерье»?

Гераськина Анна Петровна

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А.С. Исаева РАН



Актуальность

Постагрогенные сукцессии — широко распространенный тип восстановительных сукцессий.

Заброшенные сельскохозяйственные земли рассматривают как объекты -

- ✓ **восстановления и сохранения биоразнообразия и экосистемных функций и услуг лесов,**
- ✓ **реализации лесных климатических проектов, нацеленных на:**
 1. **интенсивное использование и воспроизводство лесов.** На бывших сельхозземлях возможно проведение выборочных рубок, что позволит ежегодно обеспечивать заготовку древесины в объёме нескольких млн м³,
 2. **развитие переработки заготовленного леса,**
 3. **достижение углеродной нейтральности.** Согласно Стратегии низкоуглеродного развития РФ, реализация климатических проектов на заросших сельхозземлях может позволить учесть в Национальном кадастре нетто-поглощение в размере около 130 млн т СО₂-эквивалента в год и снизить расходы на декарбонизацию примерно на 33 млрд руб. ежегодно после 2030 года (Птичников, 2025).

Актуальность

- Экосистемные услуги дождевых червей на полях Ирландии можно оценить более чем в **миллиард евро** в год (Keitha, Robinson, 2012).
- На стенках ходов **норных червей** происходит повышенное накопление (секвестрация) органического углерода — до 270–310 г/м² (**2,7-3,2 т/га**) со скоростью 22 г С/(м²·год) – **0,22 т/га** (Don et al., 2008).
- Бейли и др. (Bailey et al., 1999) оценили вклад дождевых червей в структурирование почвы (как экосистемную услугу) в 0,48 фунта стерлингов на килограмм почвы при использовании технологий минимальной обработки почвы.
- В ряде стран Европы учет дождевых червей на сельхозземлях обязательный компонент мониторинга и управления.

*По данным Рослесинфорга на 2024 год, ежегодно леса России поглощают до 1,6 млрд тонн CO₂
1 тонна поглощения CO₂-эквивалента – 1000 руб.*



Earthworms as Natural Capital: Ecosystem Service Providers in Agricultural Soils

Aidan M. Keith^{a,*} & David A. Robinson^b

^aNERC Centre for Ecology & Hydrology, Lancaster Environment Centre, Library Avenue, Bailrigg, Lancaster, LA1 4AP, United Kingdom.

^bNERC Centre for Ecology and Hydrology, Environment Centre Wales, Deiniol Road, Bangor, UK

Don, A., Steinberg, B., Schöning, I., Pritsch, K., Joschko, M., Gleixner, G. & Schulze, E-D., 2008. Organic carbon sequestration in earthworm burrows. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 1803–1812.

Thünen Institute of Climate-Smart Agriculture

Почвенная биота – неучтенный фактор накопления почвенного углерода



Обобщённая концептуальная схема потоков и пулов органического вещества при функционировании эктомикоризы, её вклада в пополнение POV и снабжение растений азотом.

Почвенная биота обеспечивают не только процессы минерализации, но и химический и физической стабилизации почвенного органического вещества. Большая роль в этих процессах принадлежит **микоризным грибам**, в которых содержится 54–900 кг С га⁻¹, преимущественно включенного в состав хитина – устойчивого к разложению биополимера, а также почвенным беспозвоночным: **дождевым червям** (стабилизируют органическое вещество в копролитах) и другим представителям мезо- и микрофауны (клещи, коллемболы, энхитреиды и др.), которые формируют тонкозернистый гумус.

A Model of the Ectomycorrhizal Contribution to Forest Soil C and N Dynamics and Tree N Supply Within the EFIMOD3 Model System

Oleg Chertov ^{1,*}, Pavel Frolov ², Vladimir Shanin ^{1,2}, Irina Priputina ², Sergey Bykhovets ² and Anna Geraskina ¹

Plants **2025**, 14, 417. <https://doi.org/10.3390/plants14030417>

Почвенная фауна – неучтенный фактор динамики почвенного углерода

254

H. Bossuyt et al. / Soil Biology & Biochemistry 37 (2005) 251–258

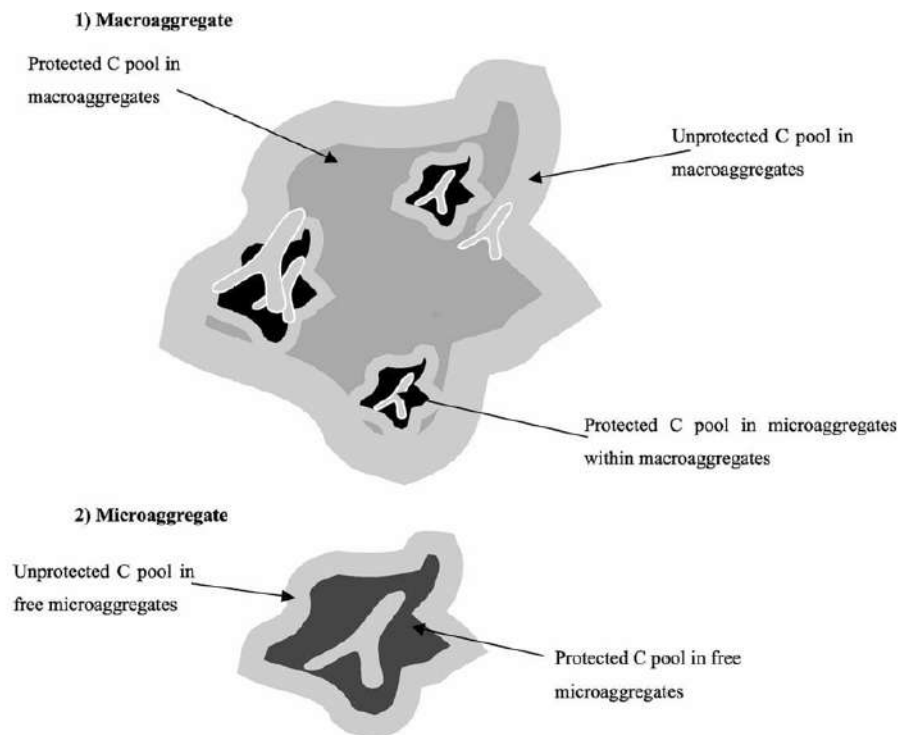


Fig. 1. Visualization of unprotected and protected C pools in macroaggregates and microaggregates.

Bossuyt H., Six J., Hendrix P., Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts, *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, Vol. 37, No. 2, pp. 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.035>

SOIL, 2, 565–582, 2016
www.soil-journal.net/2/565/2016/
doi:10.5194/soil-2-565-2016
© Author(s) 2016. CC Attribution 3.0 License.



Soil fauna: key to new carbon models

Juliane Filser¹, Jack H. Faber², Alexei V. Tiumov³, Lijbert Brussaard⁴, Jan Frouz⁵, Gerlinde De Deyn⁴, Alexei V. Uvarov³, Matty P. Berg⁶, Patrick Lavelle⁷, Michel Loreau⁸, Diana H. Wall⁹, Pascal Querner¹⁰, Herman Eijsackers¹¹, and Juan José Jiménez¹²

¹Center for Environmental Research and Sustainable Technology, University of Bremen, General and Theoretical Ecology, Leobener Str. – UFT, 28359 Bremen, Germany

²Wageningen Environmental Research (Alterra), P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, the Netherlands

³Laboratory of Soil Zoology, Institute of Ecology & Evolution, Russian Academy of Sciences, Leninsky prospekt 33, 119071 Moscow, Russia

⁴Dept. of Soil Quality, Wageningen University, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, the Netherlands

⁵Institute for Environmental Studies, Charles University in Prague, Faculty of Science, Benátská 2, 128 43 Praha 2, Czech Republic



«углеродные ловушки»,
опосредованные дождевыми червями –
earthworm-mediated ‘C trap’ (ECT) (Zhang
et al., 2013)

«горячие точки круговорота углерода»
(Vidal et al., 2019)

«black gold» – черное золото (Ahmad et
al., 2021)

В формировании микроагрегатов большая роль принадлежит эндогеяным дождевым червям (Фролов, 2024). Исключение дождевых червей из почвы снижает накопление углерода почвенного органического вещества на глубине 30–40 см до 75%, что связано с уменьшением указанной доли агрегатов (Schmidt et al., 2011).

От избыточности к недостаточности...

Extinction risk of soil biota

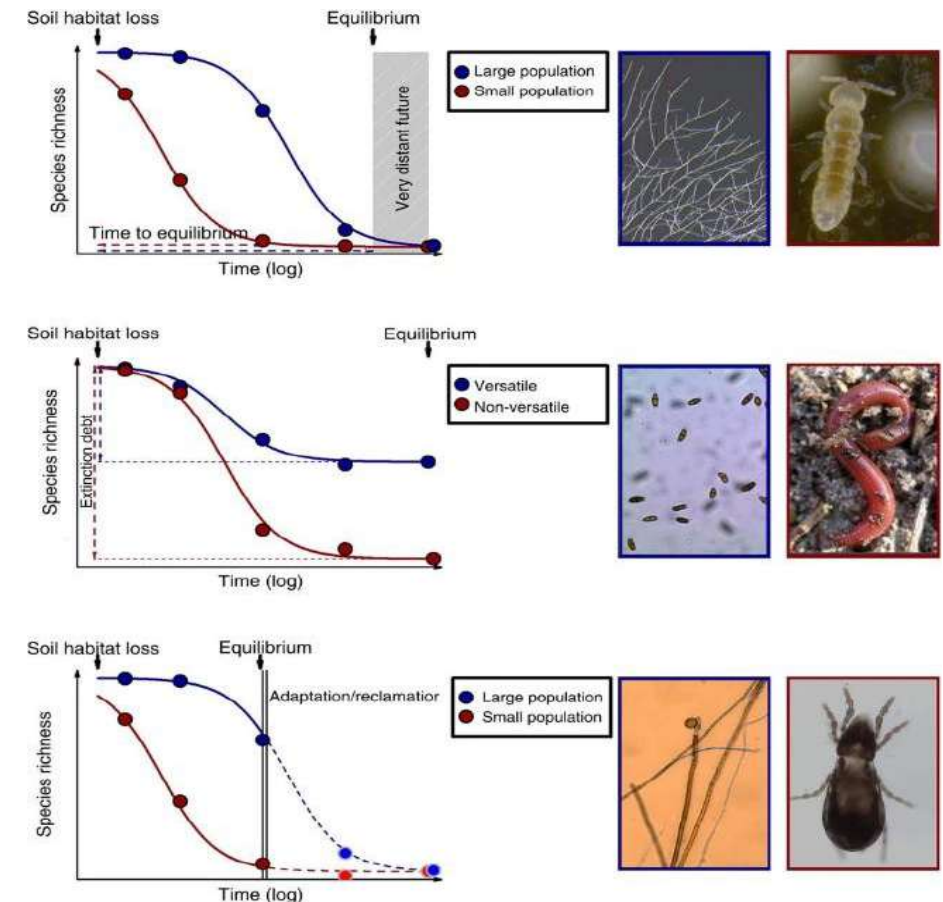
Stavros D. Veresoglou, John M. Halley & Matthias C. Rillig 

Nature Communications 6, Article number: 8862 (2015) | [Cite this article](#)

2812 Accesses | 77 Citations | 97 Altmetric | [Metrics](#)

В настоящее время гипотеза избыточности все чаще ставится под сомнение (Ayres, et al., 2009; Maestre et al., 2012; Полевые эксперименты все чаще показывают **функциональную недостаточность**).

При разложении листового опада почвенные сообщества проявляют так называемое «преимущество родной среды» (home-field advantage): опад разлагается быстрее под тем видом растения, которому этот опад изначально принадлежал. Возможно у разных групп микроорганизмов и беспозвоночных есть своя специализация, а не просто взаимозаменяемость. То есть функциональная избыточность в таких случаях не работает - уникальна роль каждого вида.



Актуальность: концепция мультифункциональности

Из-за особенностей почвенной среды обитания плохо изученную сложную почвенную жизнь часто называют «черным ящиком» а неизвестные нам потери почвенной биоты «слепой зоной глобального вымирания» (Veresoglou et al., 2015).

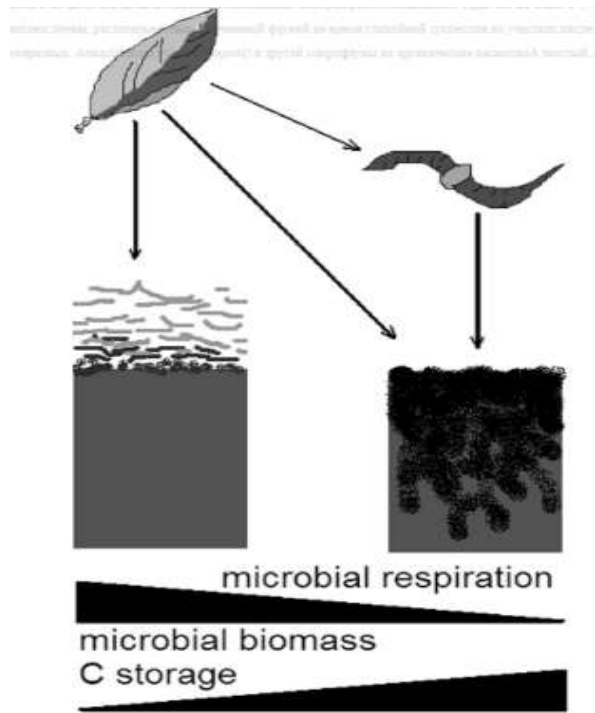


Fig. 5. Hypothetical conceptual model describing the relationships between the tree effect and fauna effect on soil properties. When the fauna effect is small, litter tends to remain on the soil surface, the Oe horizon is thick, the A horizon is thin, microbial respiration is high, and soil C storage is low. When the fauna effect is large, litter tends to be transported into the soil, the Oe horizon is thin, the A horizon is thick, microbial respiration is low, and soil C storage is high.

Frouz et al., 2013

Увеличение разнообразия не приводит к пропорциональному росту всех функций одновременно. Следовательно, избыточности для всех функций сразу просто не бывает - для каждой конкретной функции требуется свой набор специализированных видов.

Основой мультифункциональности в экосистеме служит взаимодополняемость (комплементарность), а не взаимозаменяемость. Комплементарность снижает компромиссы и повышает синергию экосистемных функций (De Smedt et al., 2016).

Несмотря на высокое таксономическое разнообразие почвенных беспозвоночных, в почве нет функциональных эквивалентов крупным почвенным «экосистемным инженерам»

*"Почва ... - система, в которой особенно четко проявляется
взаимопроникающая связь организма и среды»*

М.С. Гиляров (1949)



Василий Васильевич Докучаев
(1846-1903)

5 факторов почвообразования

- ✓ Материнская порода
- ✓ Рельеф
- ✓ Климат
- ✓ **Биота**
- ✓ Время

**Биотический фактор
наиболее быстро
изменяемый**

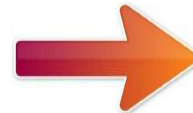
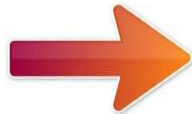


Гиляров Меркурий Сергеевич
(1912-1985)

Актуальность

В ходе постагрогенной сукцессии, как правило, восстанавливается таксономическое и структурное разнообразие растительности.

Восстанавливается ли почвенная фауна?



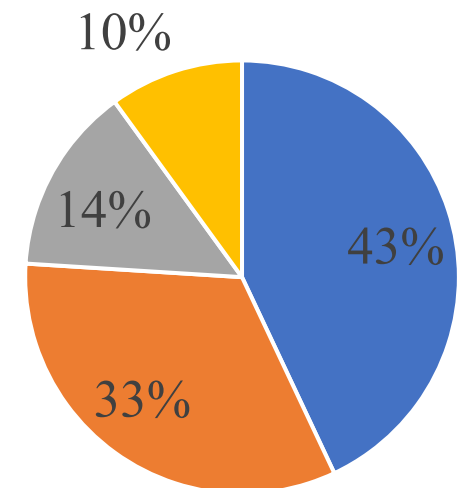
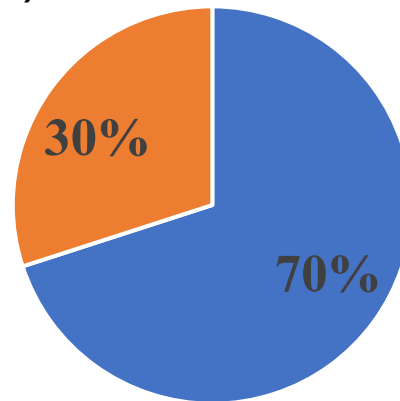
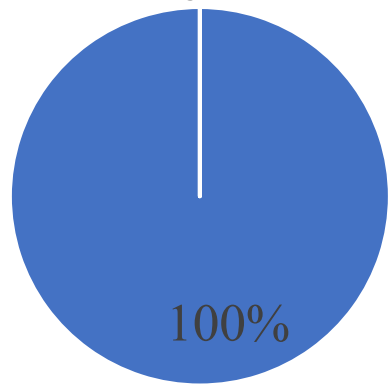
**Цель: исследование динамики восстановления населения
дождевых червей в ходе постагрогенной сукцессии**

Гипотеза

В ходе залежной сукцессии восстанавливается полночленный комплекс дождевых червей



Залежная сукцессия (Гераськина, 2009)



Доля по численности

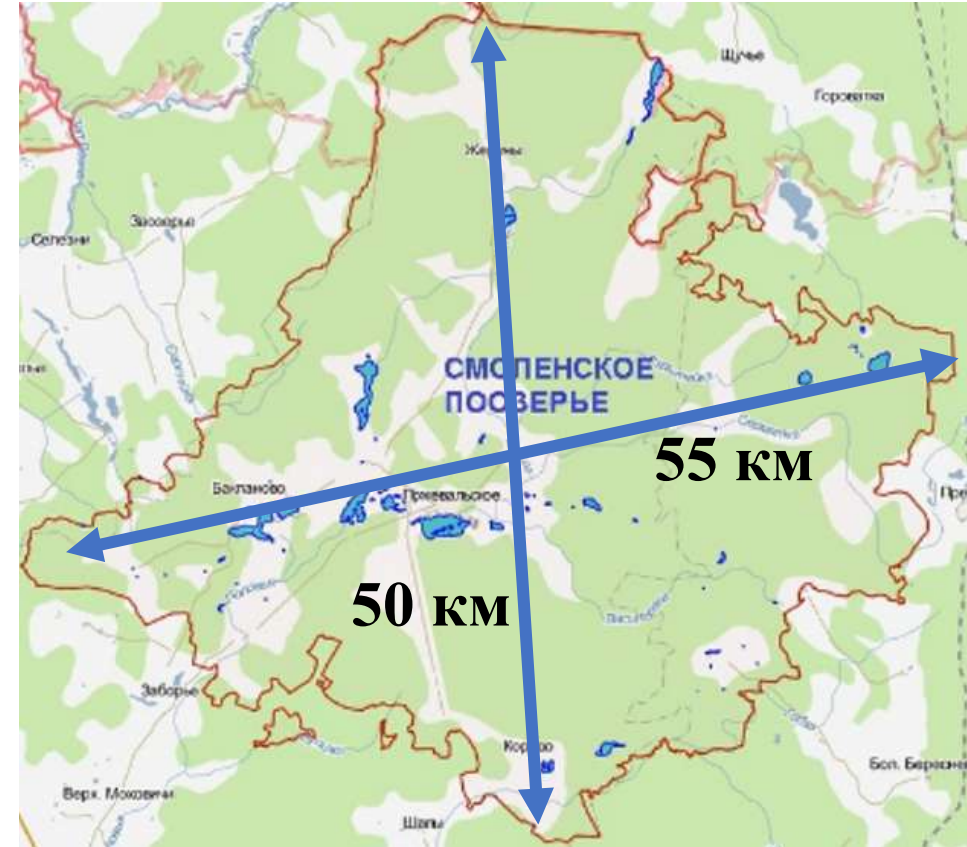
■ собственно-почвенные ■ почвенно-подстилочные ■ подстилочные ■ норные

Объекты

Национальный парк «Смоленское Поозерье» (площадь 146,2 тыс. га)



Равнинный гемибореальный широколиственно-хвойный и мелколиственно-лесной биом Смоленско-Приволжской широколиственно-лесной подзоны (Огуреева и др., 2018).



Площадь, покрытая лесом, составляет 74% от всей площади НП

«Из варяг в греки»

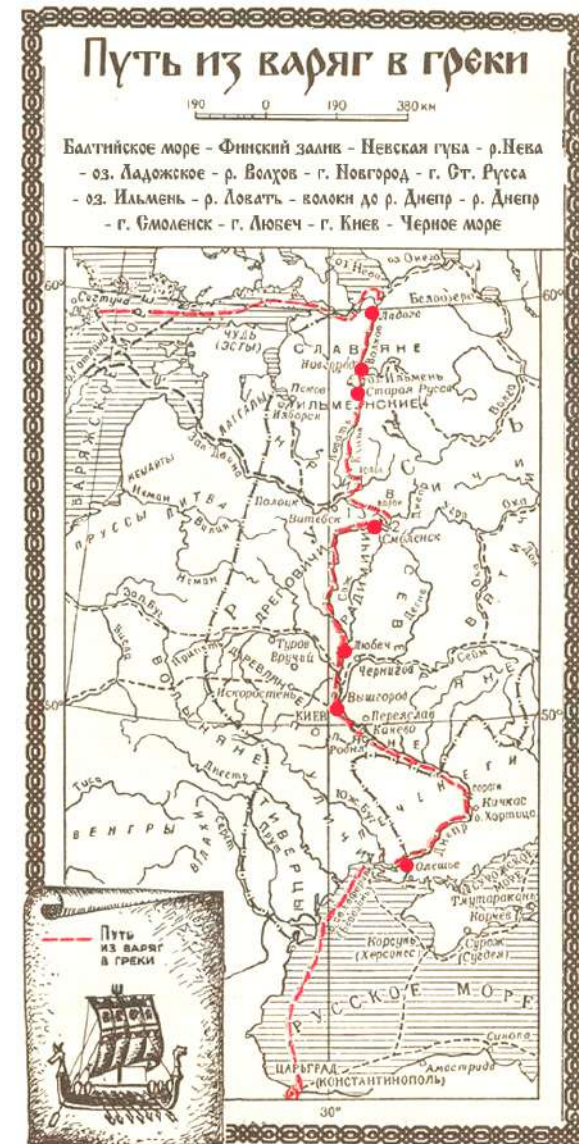
IX–XI вв. территория современного национального парка «Смоленское Поозерье» — часть торгового пути «из варяг в греки». На этой территории существовала **разветвлённая система волоков** — участков, где суда и грузы перетаскивали по суше между речными системами Западной Двины и Днепра.

Город Вержавск (находился на территории современного Демидовского района в составе НП «Смоленское Поозерье») контролировал перемещения по направлению «юг — север» (Средиземноморье — Чёрное море — Балтийское море) и участвовал в транзите товаров направления «восток — запад» (Великий Шёлковый путь).

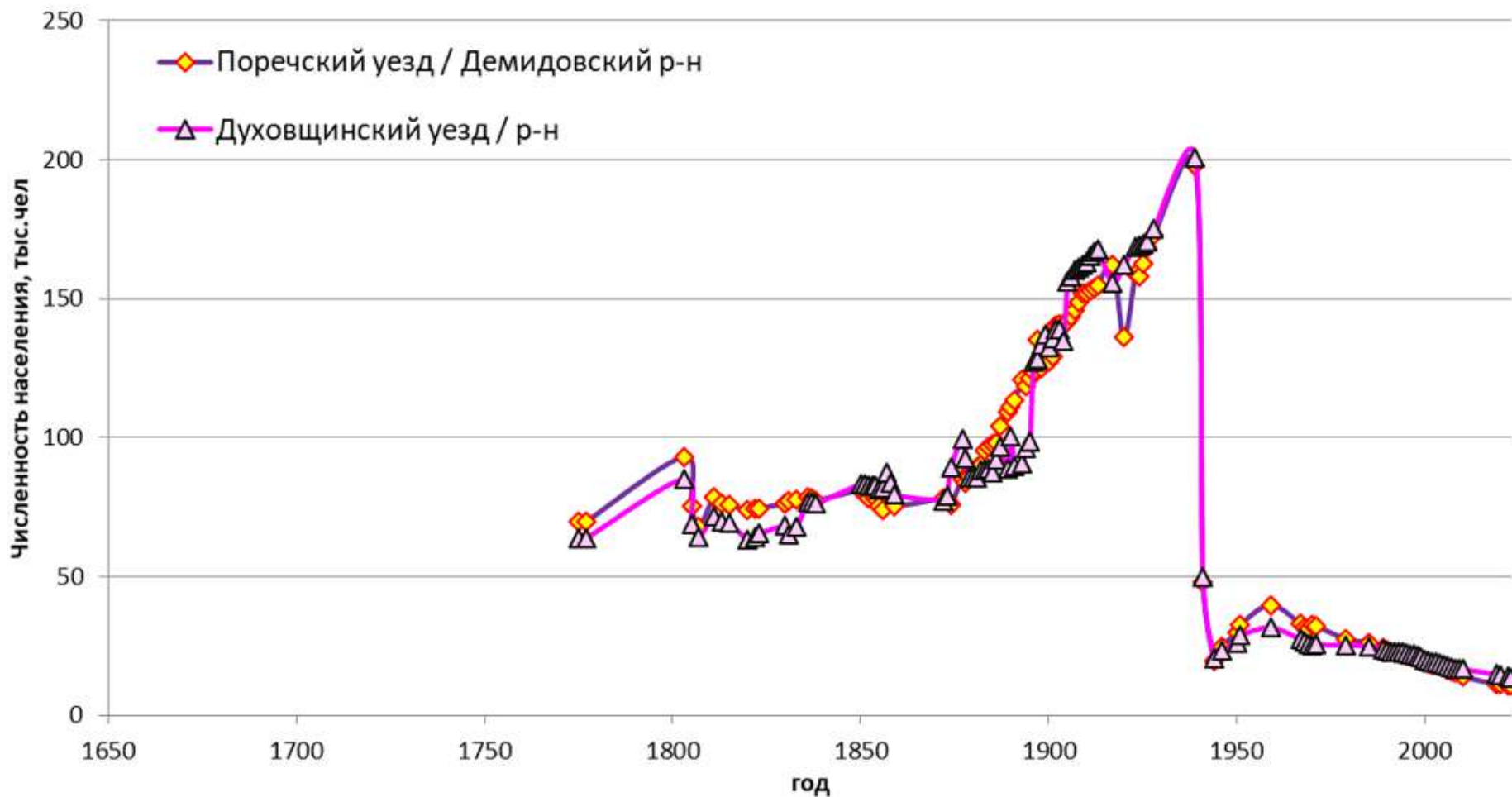


Н. Рерих «Волокут волоком» (1915)

Схема маршрута по одному из вариантов пути из варяг в греки
Днепр — Каспля — Усвяча — Ловать — оз. Ильмень.



Изменение численности населения административных районов (Поречского уезда/Демидовского района и Духовщинского уезда/района; внизу), в пределах которых находится национальный парк “Смоленское Поозерье”, с конца XVII до начала XXI вв. (Семенков, 2024)



Национальный парк «Смоленское Поозерье»

- 1978 г. - создан Куров-Борский заказник областного значения
- 15 апреля 1992 года создан НП «Смоленское Поозерье»
- 2002 г. - статус биосферного резервата программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера»



- с 2017 года - реинтродукция зубров (к 2025 году 170 особей)

Объекты

С 2021 по 2025 гг. заложено 87 пробных площадей (ПП)



Пашня



Залежный луг



Сосняк до 30 лет



Сосняк 60-70 лет



Сосняк 70-120 лет



Сосняки 80-120 лет,
не распахиваемые



условно-коренные ельники 100-120 лет



Березняки
20-30 лет



Березняки
36-60 года



Березняки с елью 65-80 лет



елово-березовые леса
80-120 лет



Смешанные леса 110-135 лет

Почвы

Агроценозы и залежные луга: агроземы с мощным (буро-)серым бесструктурным пахотным горизонтом (мощность 20-32 см).

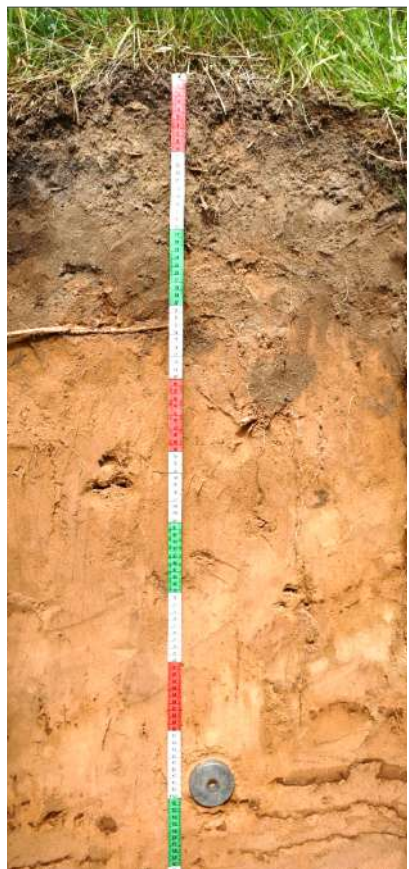
Сосновые леса: легкие супесчаные; серогумусовые, (дерново)подбуры и подзолы на флювиогляциальных отложениях.

Березовые и еловые леса: легкосуглинистые и супесчаные; серогумусовые и дерново-подзолистые на флювиогляциальных отложениях.

Березовые и хвойно-широколиственные леса: средне-тяжелосуглинистые (дерново-)подзолистые почвы на карбонатных моренных и бескарбонатных тяжелых суглинках и глине.

Описание почв: Семенков И.Н.

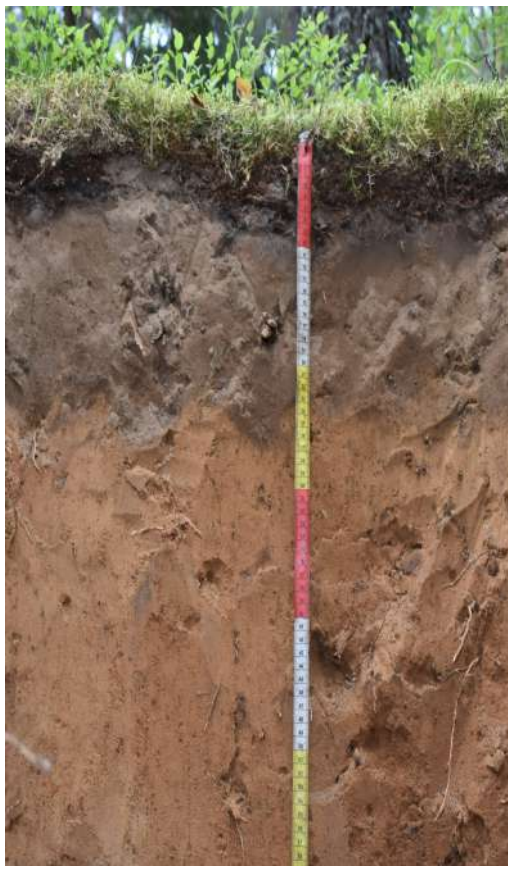
Почвы: сосновая серия (с самыми легкими – песчаными и супесчаными почвами)



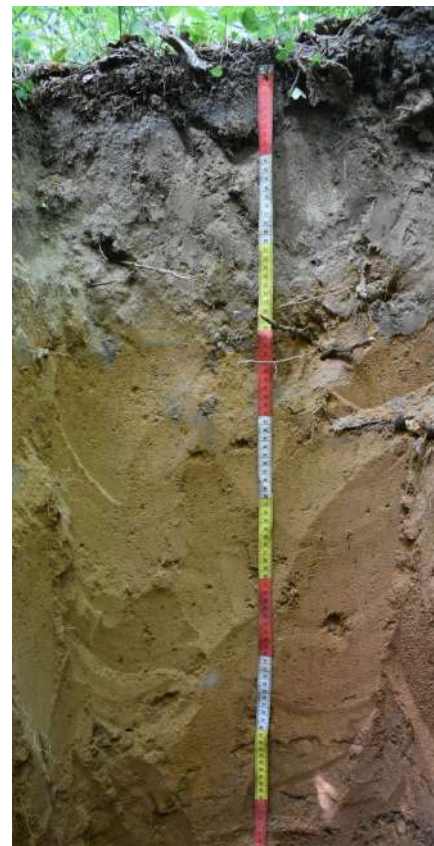
Агрозём
реградированный



Агродерново-подзол
иллювиально-
железистый
реградированный
(30 лет)



Агрозем
реградированный
(60 – 70 лет)



Серогумусовая
постагrogenная
(80-120 лет)



Серогумусовая
оподзоленная
?целинная

Разрезы, фотографии и описание Семенков И.Н.

Почвы: еловая серия (с супесчаными и легкосуглинистыми почвами)



Агрозём
реградированный
(3 года)



Агрозём
реградированный
(20 – 30 лет)



Серогумусовая
постагрогенная
(65 – 80 лет)

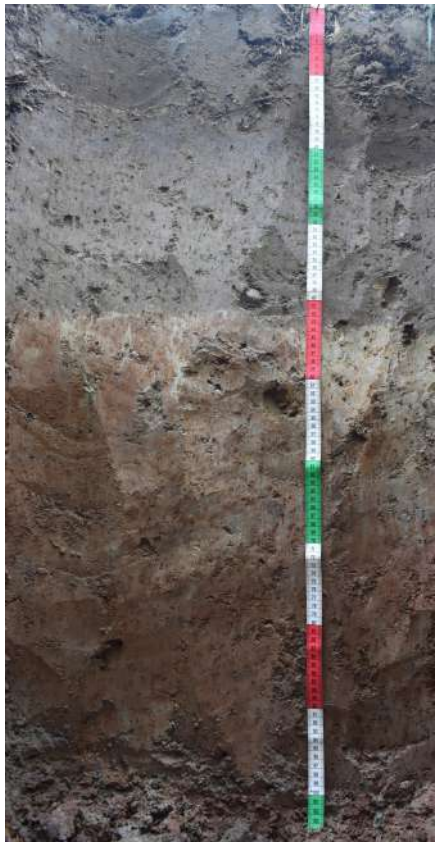


Серогумусовая
постагрогенная
(80 – 120 лет)



Подзол
грубогумусированный
целинный

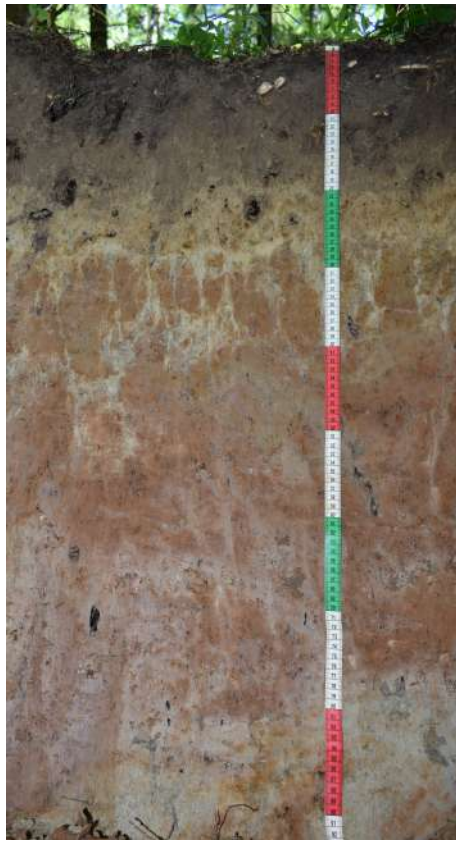
Почвы: хвойно-широколиственная (средне-тяжелосуглинистые)



Агродерново-
подзолистая



Агродерново-
подзолистая
реградированная
(10 – 20 лет)



Дерново-палево-
подзолистая
постагрогенная
(30 – 50 лет)



Дерново-
палево-
подзолистая
постагрогенная
(>120 лет)



Дерново-подзолистая
нераспахивавшаяся
(хвойно-
широколиственный
лес)

Разрезы, фотографии и описание Семенков И.Н.

МЕТОДЫ

Учет почвенных беспозвоночных: на каждой пробной площади взято по 5 стандартных почвенно-зоологических проб из монолитов площадью 25×25 см и глубиной 30 см сопряженно с отбором подстилки. Всего разобрано 435 почвенно-зоологических проб.

Кроме того, на лесных участках дополнительно разобран валеж (как правило 2-3 стадий разложения) – важное местообитание крупных почвенных беспозвоночных. Всего разобрано более 50 фрагментов валежа.

Большинство представителей макрофауны идентифицированы до надвидовых таксонов. Виды дождевых червей определены по Кадастру и определителю Т.С. Всеволодовой-Перель (1997). Биомасса червей определена у зафиксированных особей с наполненным кишечником.



Ручной разбор почвенных проб



Ручной разбор валежа



Фиксация в 96% этаноле

Расчет индекса - QBS_e

Ecological Indicators 93 (2018) 1276–1292



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems



Silvia Fusaro^{*,1}, Federico Gavinelli¹, Francesca Lazzarini, Maurizio G. Paoletti

Biology Dept., Padova University, via U. Bassi 58, 35121 Padova, Italy

$$\begin{aligned} \text{QBS-e} = & (\text{HYD Im, Ad score} * N) + (\text{COP Im, Ad score} * N) \\ & + (\text{EPI Im score} * N) + (\text{END Im score} * N) + (\text{EPI Ad score} * N) \\ & + (\text{END Ad score} * N) + (\text{ANE Im score} * N) \\ & + (\text{ANE Ad score} * N) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{QBS-e} = & (\text{HYD Im, Ad score} * N) + (\text{COP Im, Ad score} * N) \\
& + (\text{EPI Im score} * N) + (\text{END Im score} * N) + (\text{EPI Ad score} * N) \\
& + (\text{END Ad score} * N) + (\text{ANE Im score} * N) \\
& + (\text{ANE Ad score} * N)
\end{aligned}$$

EcoMorphological (EMI) scores attributed to each ecological category and age (Paoletti et al., 2013).

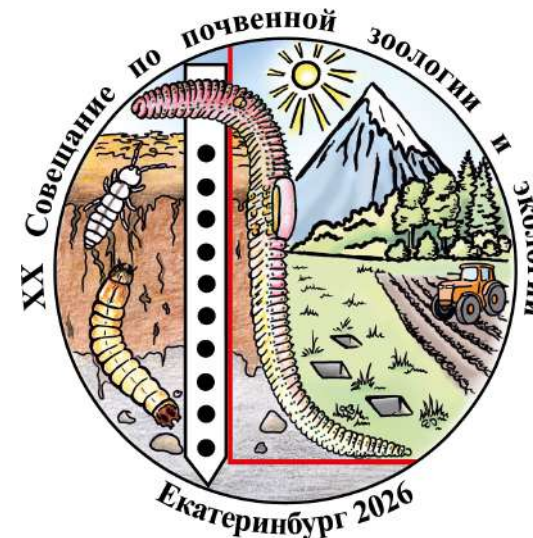
Ecological category	Age	EMI score
Hydrophilic (HYD)	Immature (Im)	1
Hydrophilic (HYD)	Adult (Ad)	1
Coprophagic (COP)	Immature (Im)	2
Coprophagic (COP)	Adult (Ad)	2
Epigeic (EPI)	Immature (Im)	2.5
Endogeic (END)	Immature (Im)	2.5
Epigeic (EPI)	Adult (Ad)	3
Endogeic (END)	Adult (Ad)	3.2
Anecic/Deep-burrower (ANE)	Immature (Im)	10
Anecic/Deep-burrower (ANE)	Adult (Ad)	14.4

Arpo

Arpo+ect.

Висимский заповедник

Эндемичные виды дождевых червей Урала



Средний вес adult особи

<i>D. octaedra</i> (п)	190 мг
<i>B. tenuis</i> (п)	160 мг
<i>Rhiphaeodrilus diplotetratheca</i> (пп)	432 мг
<i>Perelia tuberosa</i> (сп)	260 мг
<i>E. n. nordenskioldi</i> (норные)	1802 мг

QBSe = 632 (Биомасса 40 г/кв.м)

Пихто-ельник с липой бореально-неморальный

Soil quality classes based on the QBS-e index value ([Paoletti et al., 2013](#)).

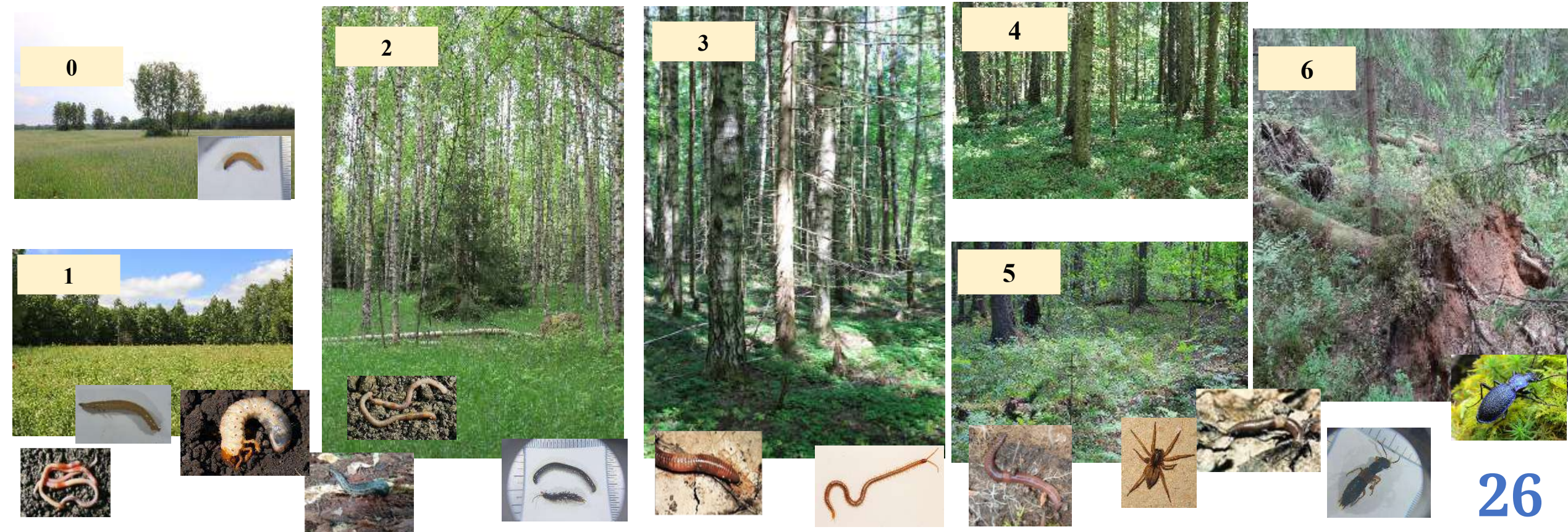
QBS-e value	Soil Quality Class (agroecosystem, semi-natural environment)
QBS-e > 1000	Excellent (4)
600 < QBS-e < 1000	Good (3)
300 < QBS-e < 600	Decent (2)
100 < QBS-e < 300	Sufficient (1)
0 < QBS-e < 100	Poor (0)

Результаты: макрофауна

Общие тренды

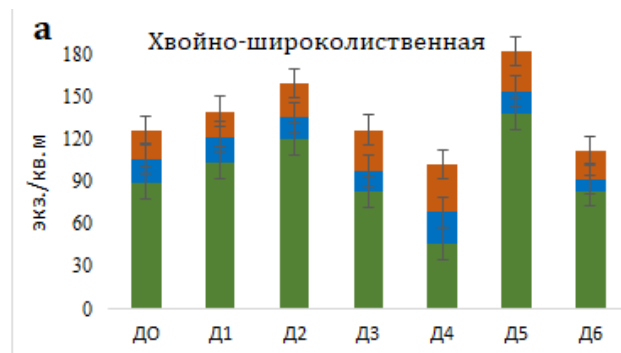
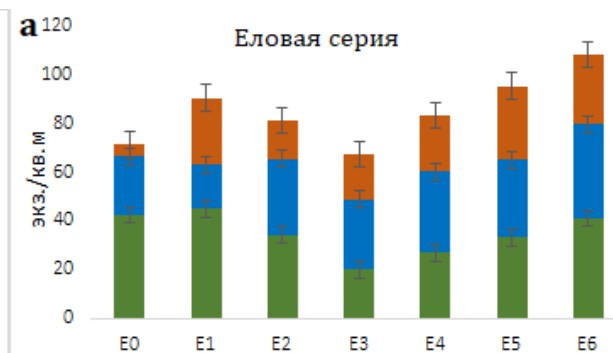
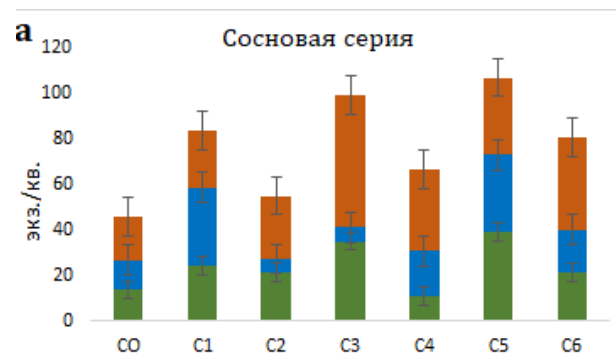
Разнообразие, численность и биомасса макрофауны кардинально меняются при переходе от стадии «пашня» (0) к стадии «луг» (1) и от луговых сообществ к лесным. Разнообразие макрофауны минимально на стадии «пашня» (0), максимально — на позднелесных стадиях (5, 6). **Фауна подстилки восстанавливается быстрее фауны минеральных горизонтов.**

«Пашенная» — «Луговая» — «Лесная»

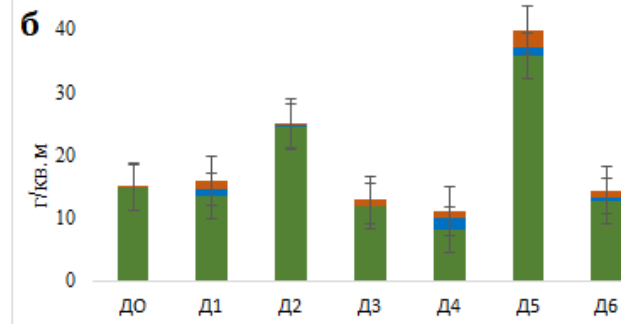
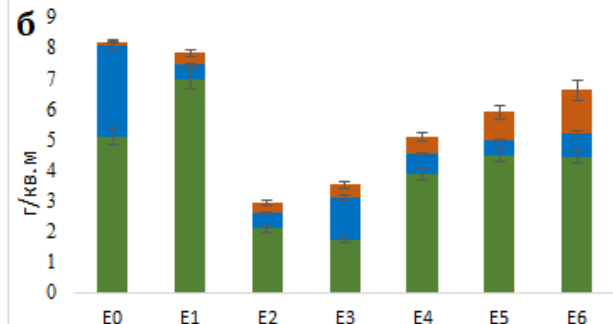
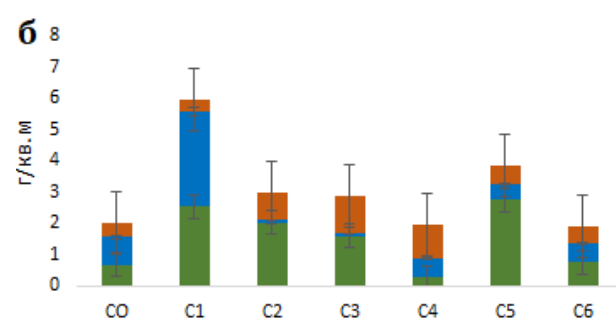


Результаты: макрофауна

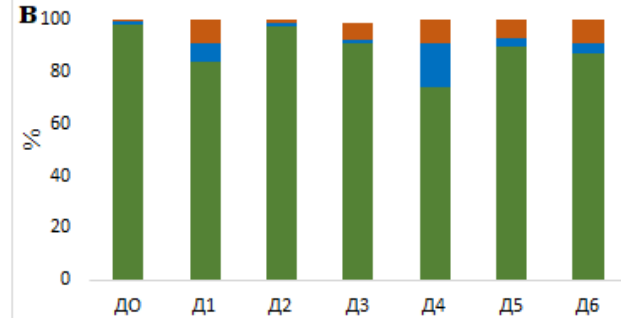
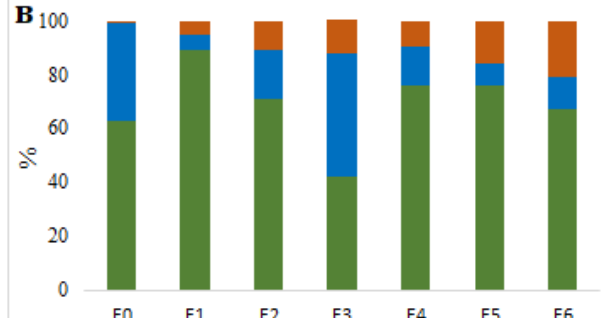
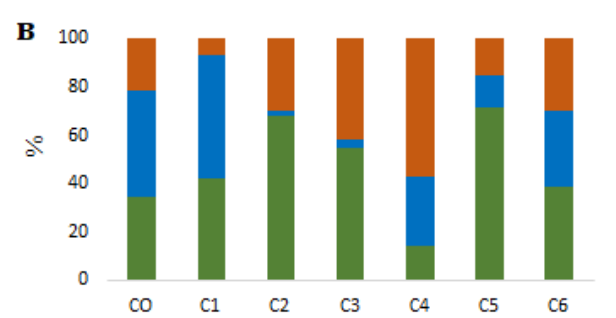
**Численность
(экз./кв.м)**



**Биомасса
(г/кв.м)**



**Соотношение
трофических
групп (%)**



■ Хищники ■ Фитофаги ■ Сапрофаги

Результаты: сосновая серия

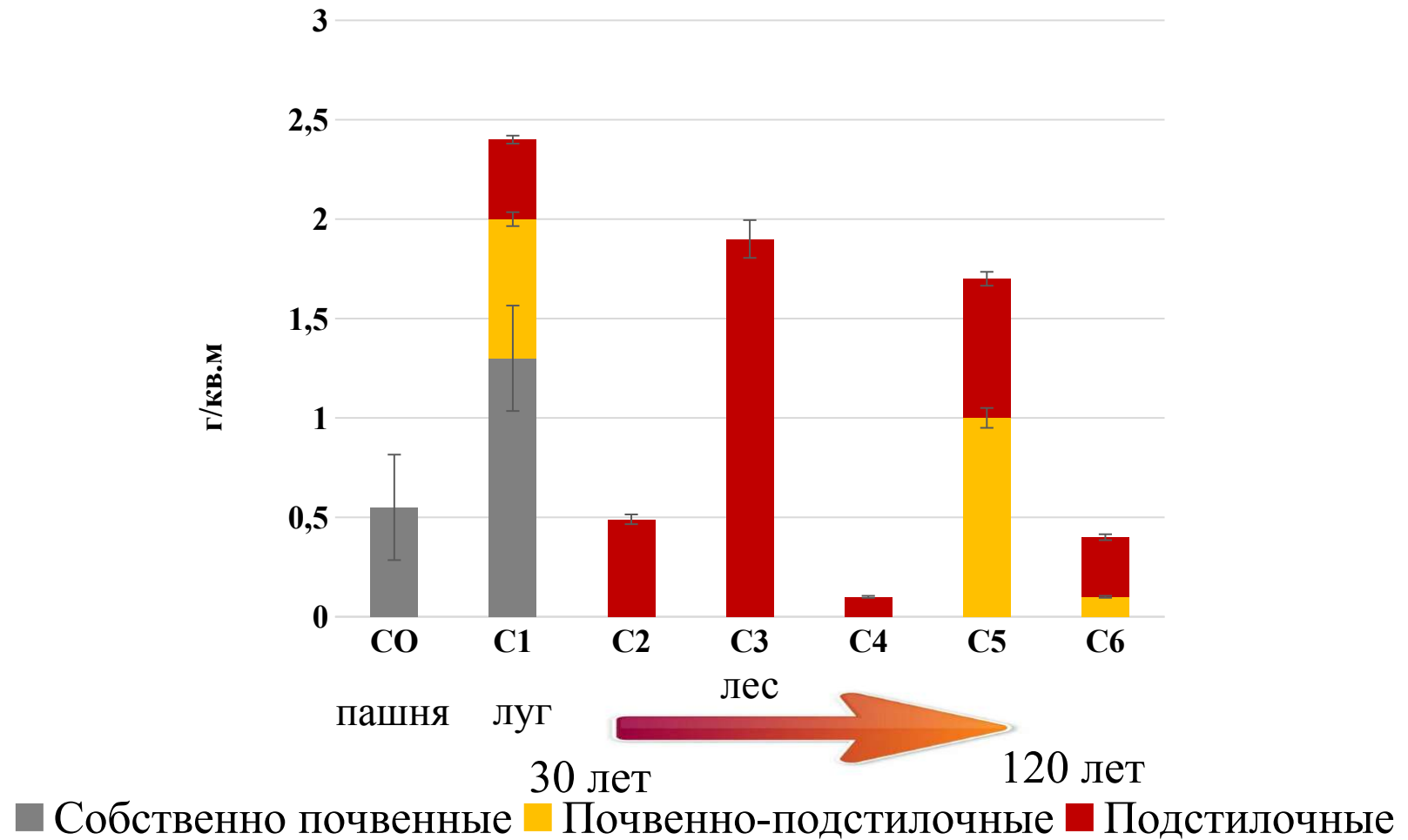
D. octaedra (C1-C6)

B. tenuis (C3-C6)

L. rubellus (C1, C5, C6)

O. lacteum (C1)

A. caliginosa (C0, C1)



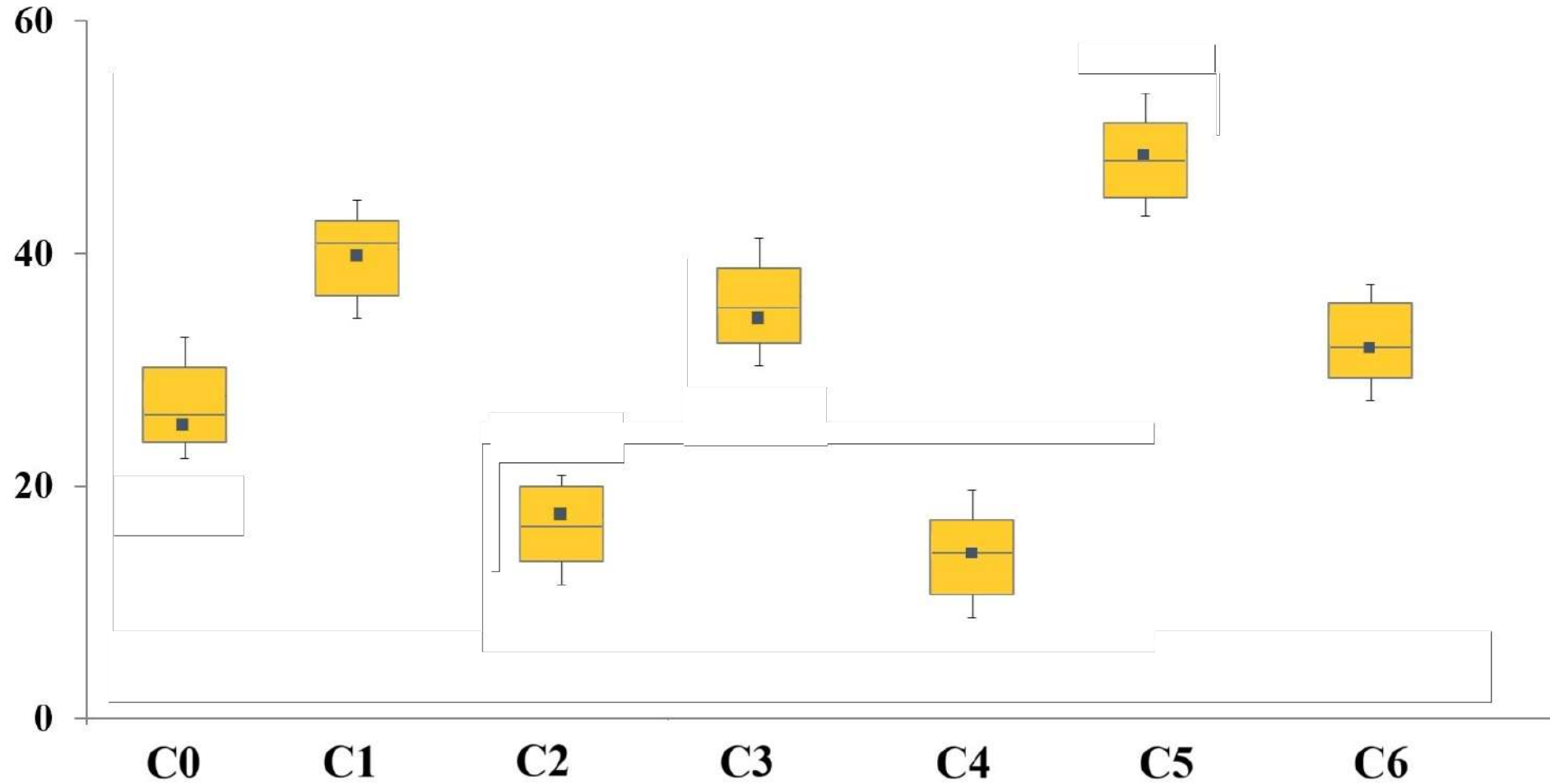


C4

**Послепожарный
сосняк**

Результаты: сосновая серия

QBSe



Результаты: еловая серия

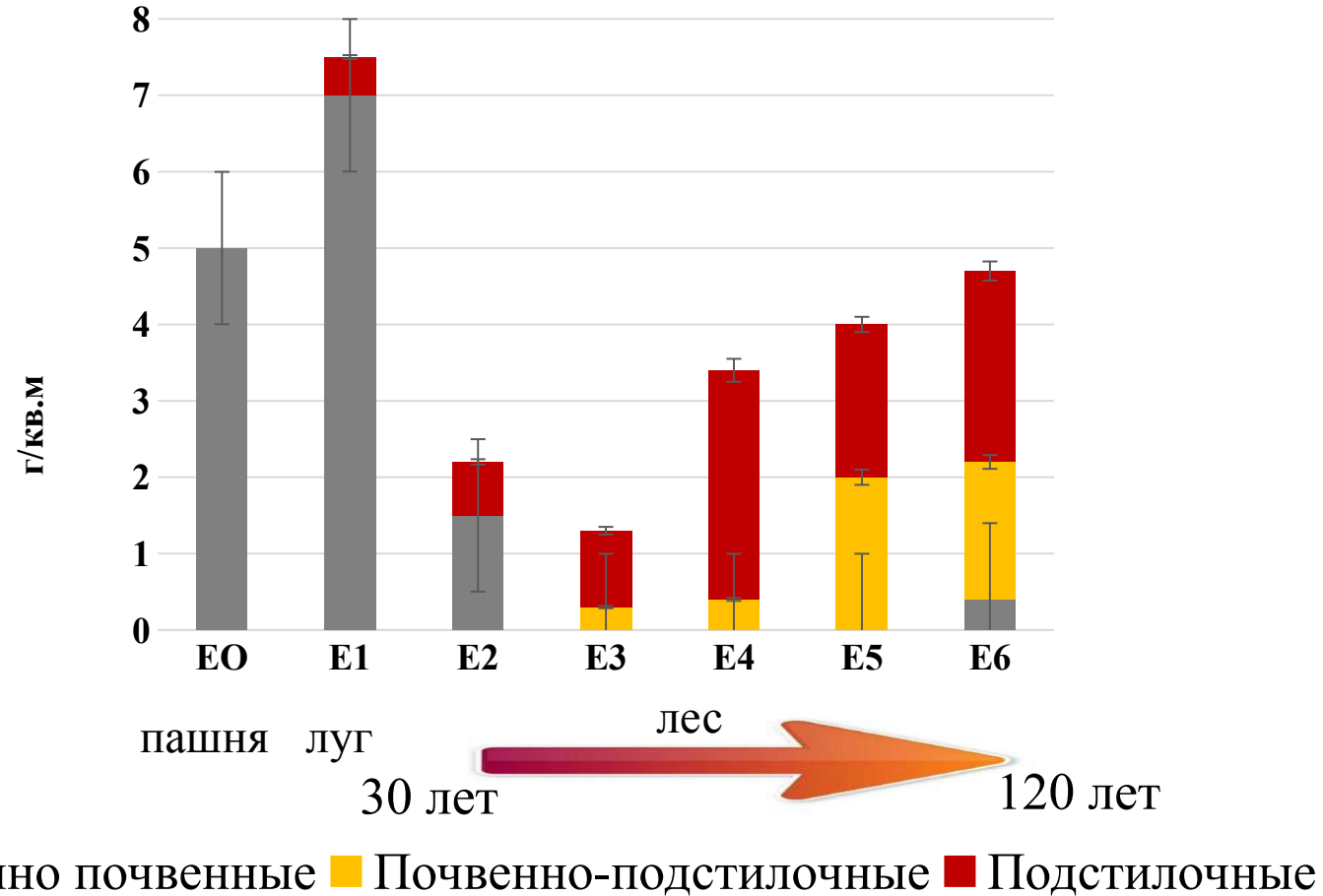
D. octaedra (E1-E6)

B. tenuis (E5-E6)

L. rubellus (E3-E6)

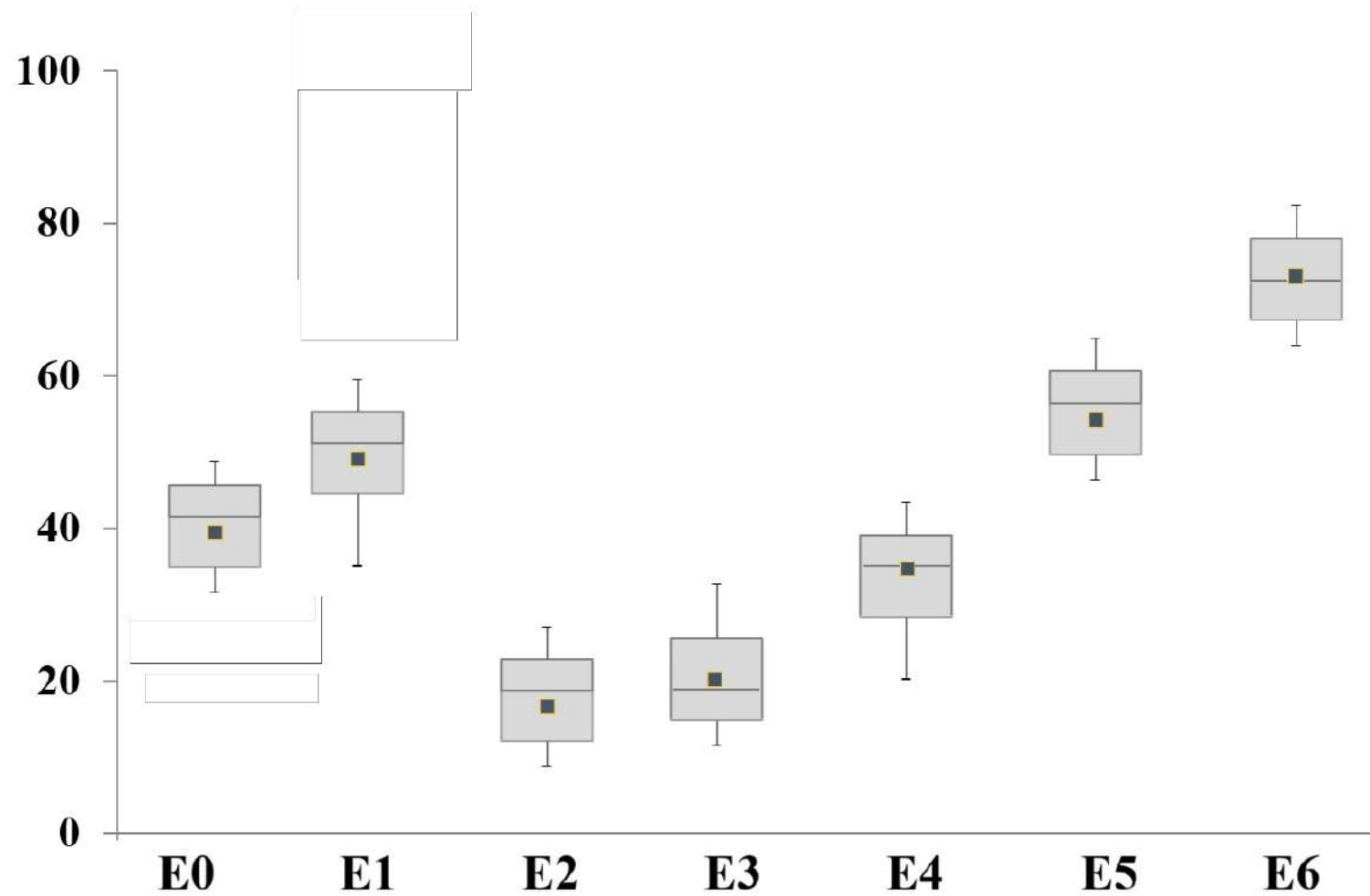
A. caliginosa (E0, E1, E2)

A. rosea (E1, E6)



Результаты: еловая серия

QBSe



Результаты: хвойно-широколиственная серия

D. octaedra (Д0-Д7)

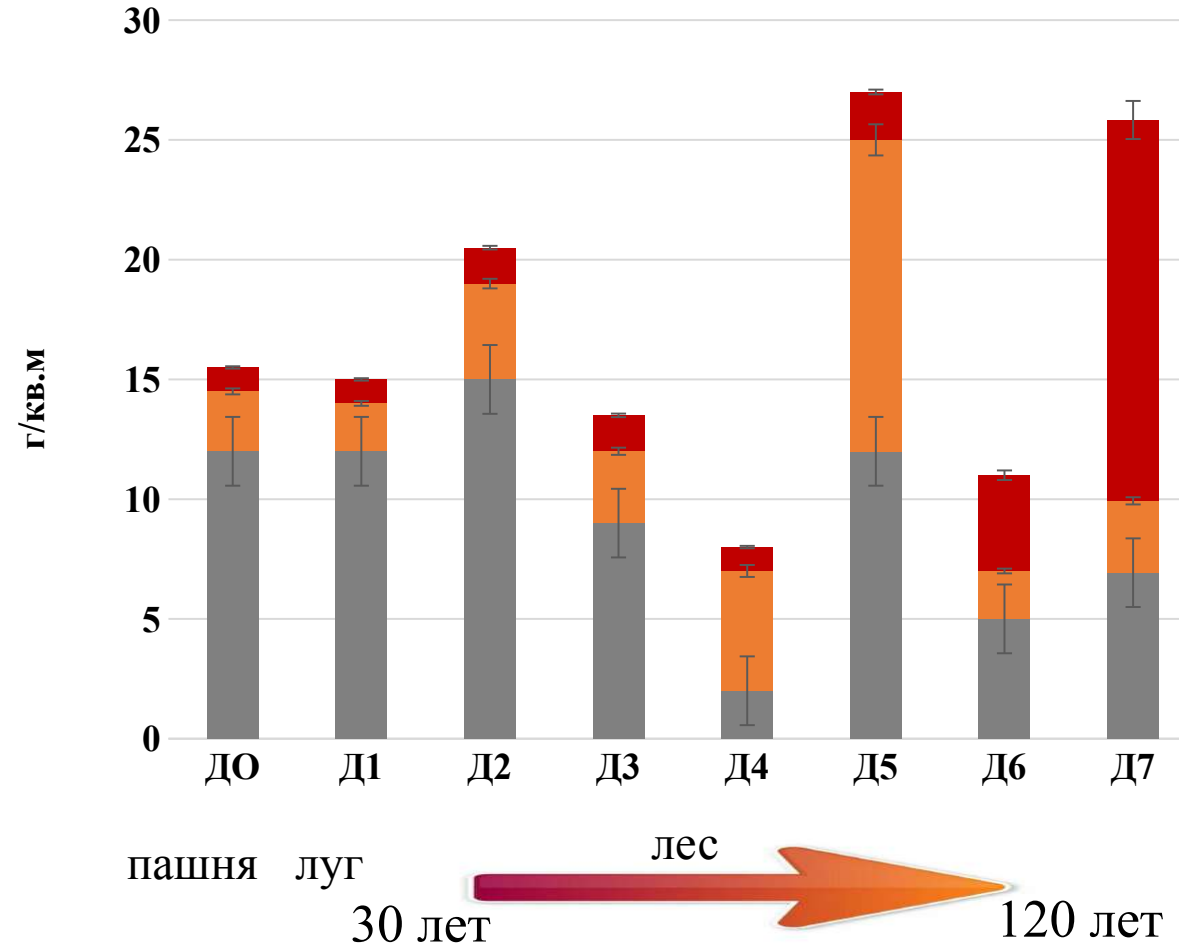
B. tenuis (Д5, Д7)

L. rubellus (Д0-Д7)

A. caliginosa (Д0-Д6)

A. rosea (Д0-Д6)

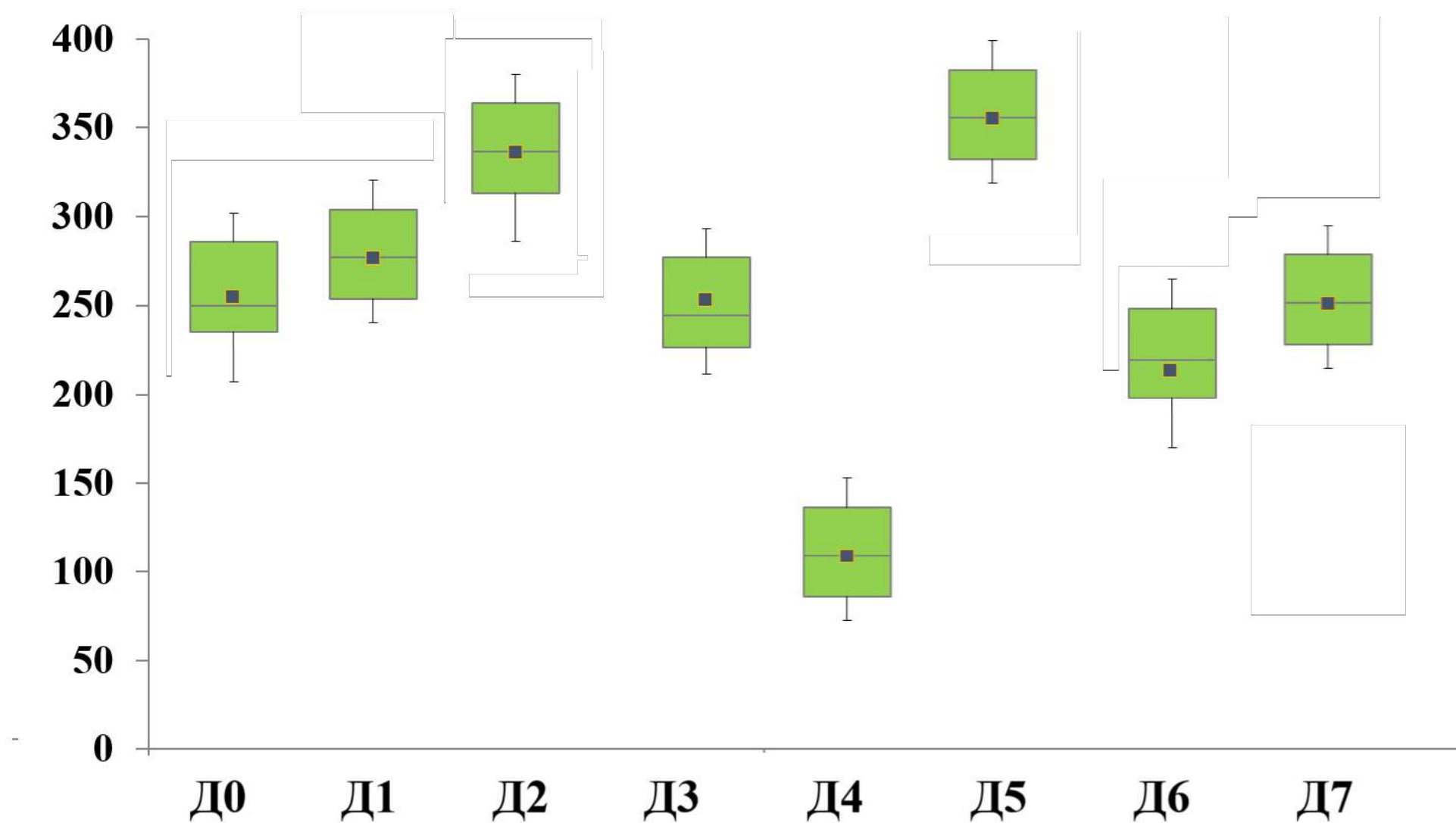
O. lacteum (Д0-Д7)

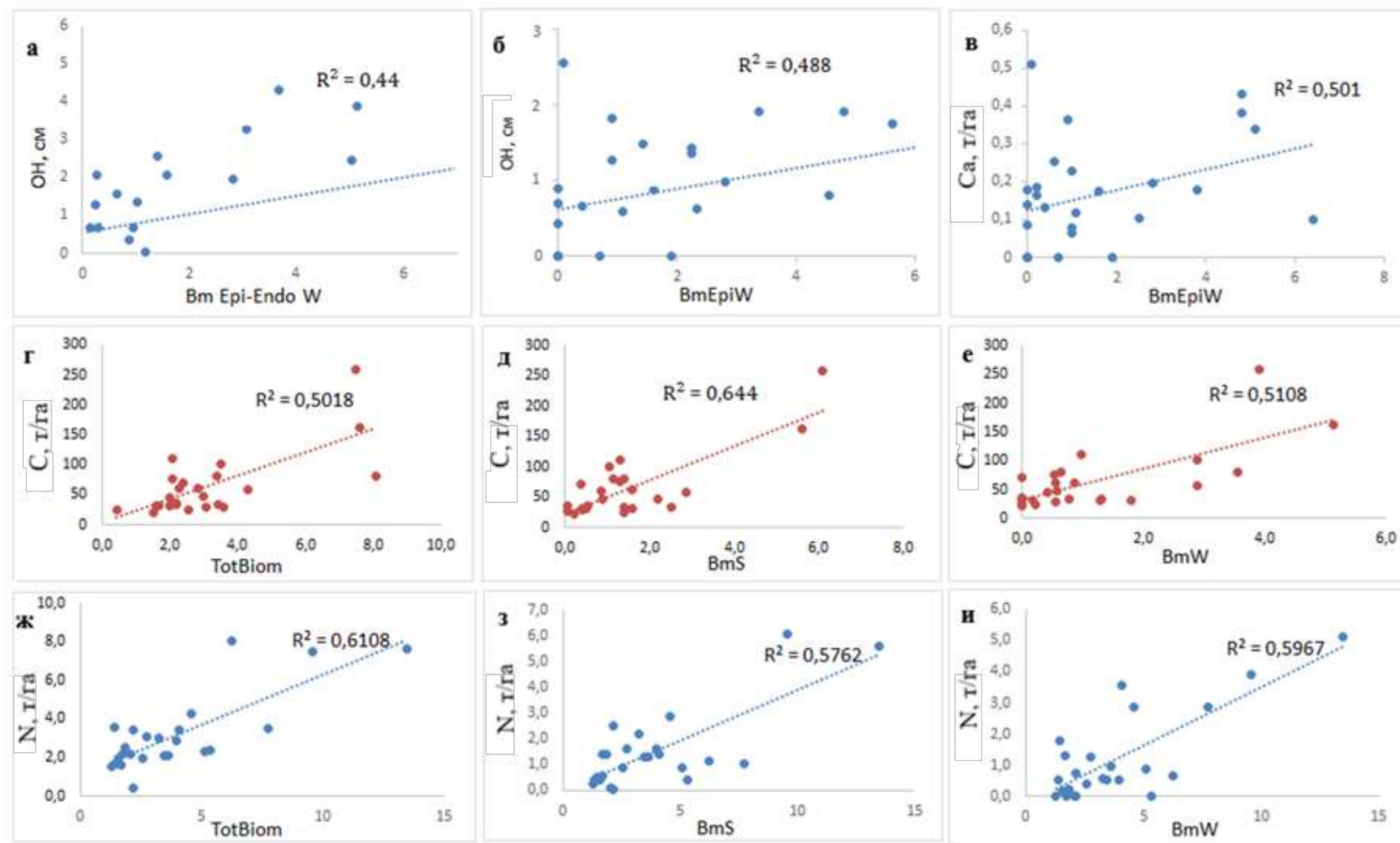


■ Собственно почвенные ■ Почвенно-подстилочные ■ Подстилочные

Результаты: хвойно-широколиственная серия

QBSe





Условные обозначения: а-е – сосновая хроносерия; з – еловая; ж, и – хвойно-широколиственная. Stot - запасы общего (органического) углерода в слое 0-30 см (т/га); Ntot - запасы общего азота в слое 0-30 см (т/га); Ca - запасы обменного кальция в слое 0-30 см (т/га); OH - мощность подгоризонта подстилки OH (см); TotBiom - общая биомасса макрофауны (г/м.кв); Bm - биомасса сапрофагов (г/м.кв); BmW - биомасса дождевых червей (все группы) (г/м.кв); BmEpiW - биомасса подстилочных дождевых червей (г/м.кв); BmEpi-EndoW - биомасса почвенно-подстилочных дождевых червей (г/м.кв)

Сосновые



Самые низкие значения численности и биомасса д. червей

2 группы д. червей (п+пп)

QBSe (16-46)

Еловые



Низкие значения численности и биомассы д. червей

**2 группы д. червей (п+пп),
3 – на ст. Е6 (+ сп)**

QBSe (18-63)

Смешанные



Средние значения численности и биомассы д. червей

3 группы д. червей (п+пп+сп)

QBSe (83-335)

Заключение

- Люмбрикофауна НП «Смоленское Поозерье» не восстановилась через 100 лет после распашки
- Потенциальное разнообразие макрофауны в подстилке, типичное для хвойно-широколиственных лесов средней полосы России, восстанавливается быстрее, чем в минеральных горизонтах почвы
- Максимальное восстановление комплекса дождевых червей выявлено на поздних стадиях развития хвойно-широколиственных лесов на среднесуглинистых постагрогенных почвах, здесь их биомасса достигает 30 г на кв.м., восстанавливаются подстилочная, почвенно-подстилочная и частично собственно почвенная группа, трансформирующая почву до глубины 30-40 см. Группа норных дождевых червей не обнаружена ни в одном из вариантов обследования леса, несмотря на то что норные черви типичные представители люмбрикофауны средней полосы России
- Выявлены положительные связи почвенной макрофауны с запасами общего (органического) углерода, азота и обменного кальция в слое 0-30 см.

БЛАГОДАРНОСТИ:
администрация НП «Смоленское Поозерье»,
команда проекта РНФ, коллеги МГУ и ЦЭПЛ РАН

Семенков И.Н., Бавшин И.М., Бондарь А.И., Гаврилюк Е.А, Герасимова М.И., Гераськина А.П., Енчилик П.Р.,
Клинк Г.В., Корнилова А.И., Кузнецова А.И., Смирнова М.А., Терехова Д.А., Титовец А.В., Тихонов Д.Н.,
Тихонова Е.В., Хохряков В.Р., Чеченков П.Д., Шопина О.В. Ермолов С.А., Морозова Н.В., Лукина Н.В.



**ФИНАНСИРОВАНИЕ:
«Индикаторы агрогенного этапа развития лесной
территории» (руководитель Семенков И.Н.)
РНФ № 21-74-20171-П**

Информация о проекте и публикации:

<https://clck.ru/aSYNZ>

<https://rscf.ru/project/21-74-20171/>