



Неравновесные состояния комплексов почвенных сапрофагов: диагностика по формам гумуса при промышленном загрязнении и рекреации

И.Н. Коркина, Е.Л. Воробейчик



ИЭРиЖ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ
РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ



**ЛАБОРАТОРИЯ ЭКОТОКСИКОЛОГИИ
ПОПУЛЯЦИЙ И СООБЩЕСТВ**
Laboratory of Population and
Community Ecotoxicology

г. Екатеринбург

«Формула взаимодействия» (В.В. Докучаев, 1883),
формула Г. Йенни (1941): $S = f(cl, o, r, p, t...)$



Рефлекторность почв –
способность почв в своих
свойствах отражать
факторы почвообразования



П.Е. Мюллер (Muller P.E., 1879, 1884, 1887- на немецком, 1889 – на французском языках). Верхние горизонты почв - «**expression of life**» - проявления активности организмов в морфологическом строении верхних горизонтов почв

Характерное время

Почва-память и почва-момент

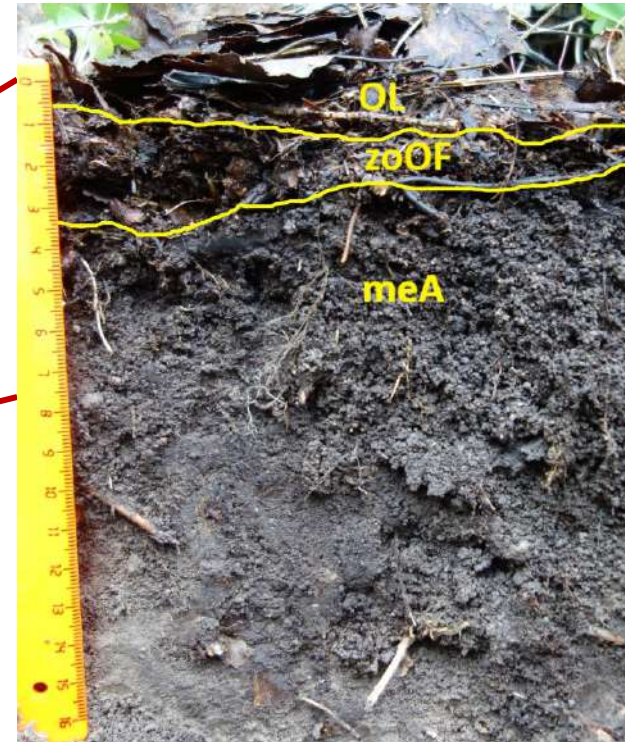
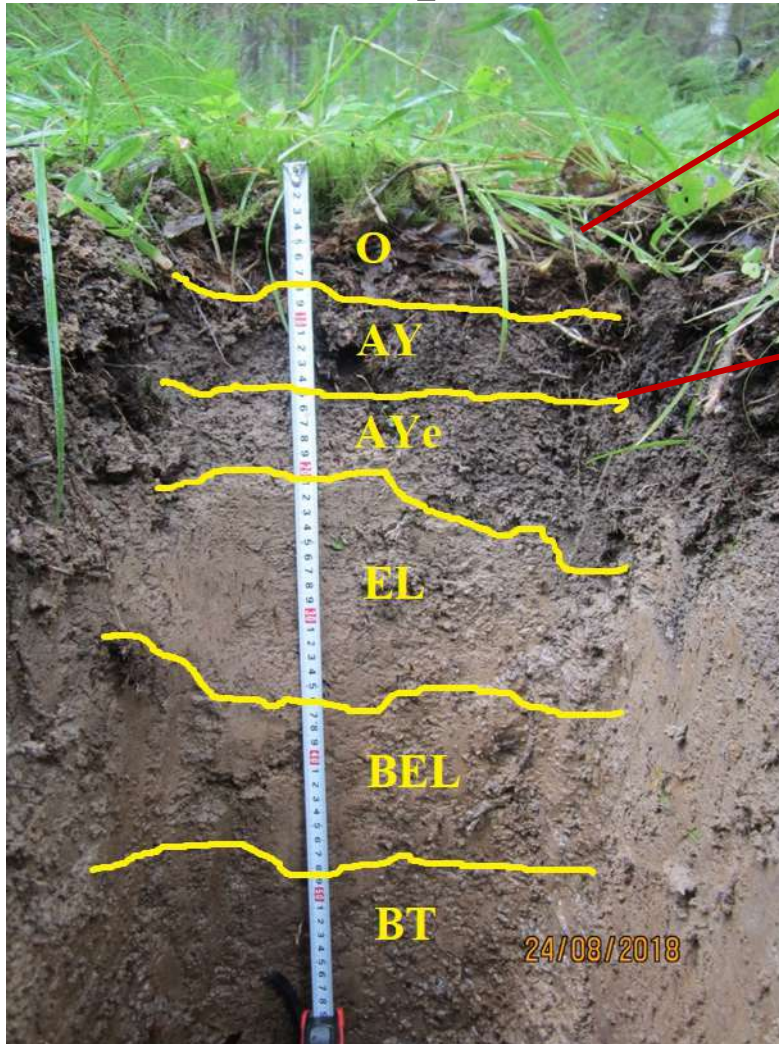
Свойства почв	Характерное время (гумидные умеренные области)
Влажность, температура	Часы, сутки
Состав почвенных растворов	Сутки, месяцы
Состав почвенного поглощающего комплекса, минерализация опада	Месяцы, годы
Горизонты О, солевые горизонты	Годы, десятки лет
Глеевые горизонты	Десятки, сотни лет
Гумусовый профиль, карбонатный профиль	Сотни, тысячи лет
Профиль, дифференцированный по содержанию ила, выветривание биотита, амфиболов, пироксенов, кальциевых полевых шпатов	Тысячи, десятки тысяч лет
Зрелый минералогический профиль коры выветривания и почвы, выветривание калиевых полевых шпатов	Десятки и сотни тысяч лет
Выветривание кварца, циркона, рутила и др.	Миллионы лет

Полигенетичный профиль

Формы гумуса

- типы морфологического строения верхних горизонтов почв

Почвенный профиль – это система горизонтов



Форма гумуса – верхняя часть почвенного профиля, представленная последовательностью органических и органоминеральных горизонтов

Как мы видим процесс разложения растительных

Европейская морфофункциональная классификация форм гумуса



**2011 г классификация и
реферативная база форм гумуса
(European Humus Forms Reference
Base)**

A European morpho-functional classification of humus forms

A. Zanella ^{a,*}, B. Jabiol ^b, J.F. Ponge ^c, G. Sartori ^d, R. De Waal ^e, B. Van Delft ^e, U. Graefe ^f, N. Cools ^g,
K. Katzensteiner ^h, H. Hager ^h, M. Englisch ⁱ

^a University of Padua, Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, Italy

^b AgroParisTech, ENGREF-IERFOR, 14 rue Girardet, 54042 Nancy, France

^c Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS UMR 7179, 4 avenue du Petit Château, 91800 Brunoy, France

^d Museo Tridentino di Scienze Naturali, Via Calepina 14, 38100 Trento, Italy

^e Alterra, Centre for Ecosystem Studies, Environmental Sciences Group, Wageningen University and Research Centre, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands

^f Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH, Sodenkamp 62, 22337 Hamburg, Germany

^g Research Institute for Nature and Forest, Gaverstraat 4, 9500 Genk, Belgium

^h Institute of Forest Ecology, Department of Forest and Soil Sciences, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, BOKU, Vienna, Peter Jordanstr. 82, 1190 Vienna, Austria

ⁱ Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape, Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Vienna, Austria

**2018 г Applied Soil Ecology,
обновленная версия
классификации**



Humusica 1



Humusica 2



Humusica 3

Уровни организации классификации

Детерминанты форм гумуса

Группа систем гумуса по степени гидроморфизма

Система гумуса (Humus system)

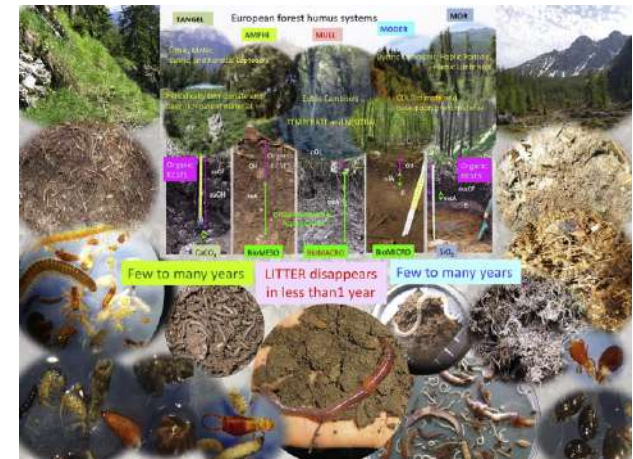
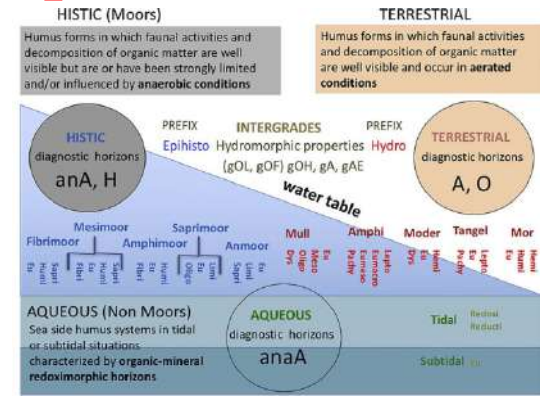
Формы гумуса (Humus forms)

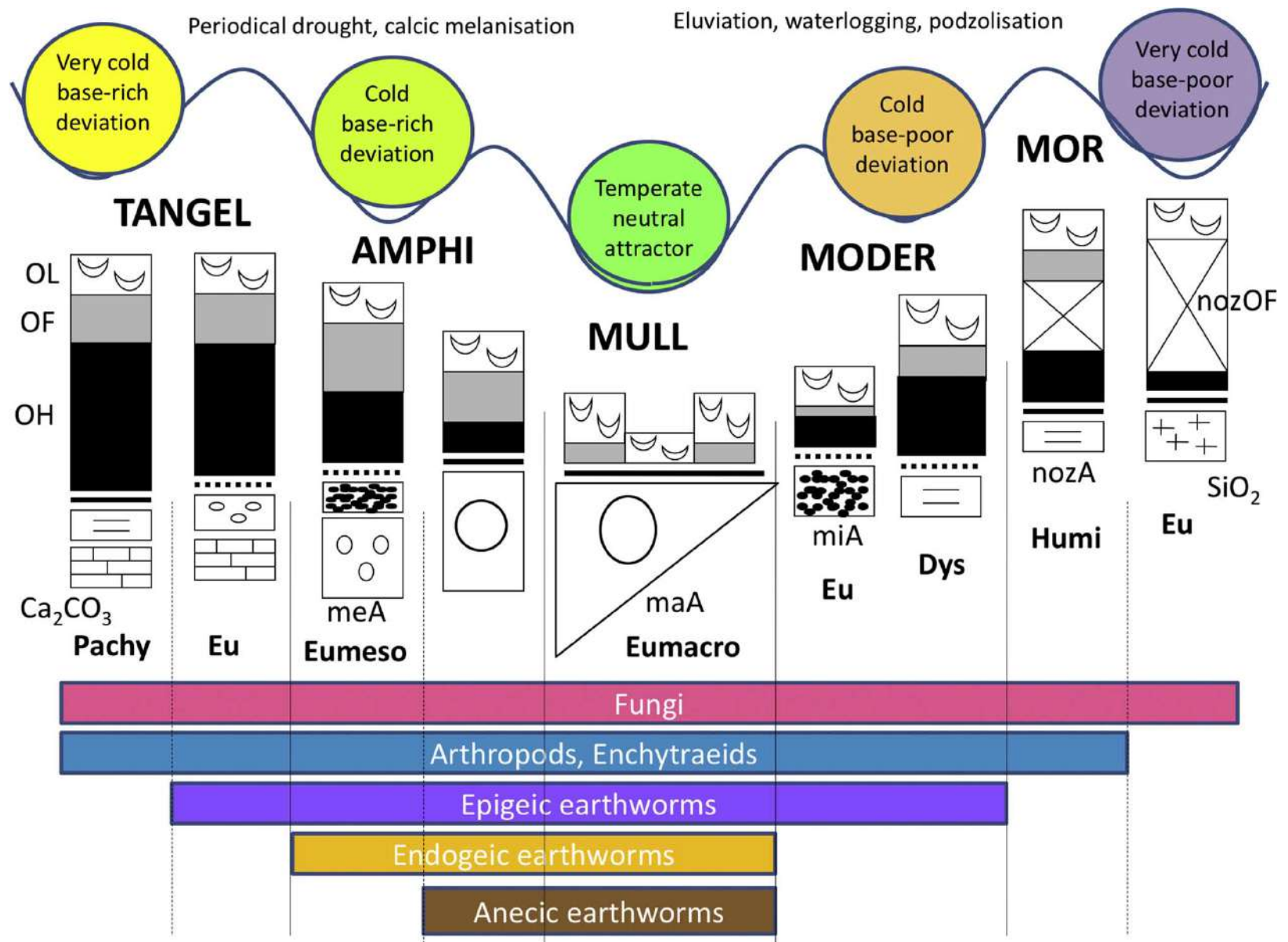


Водный режим

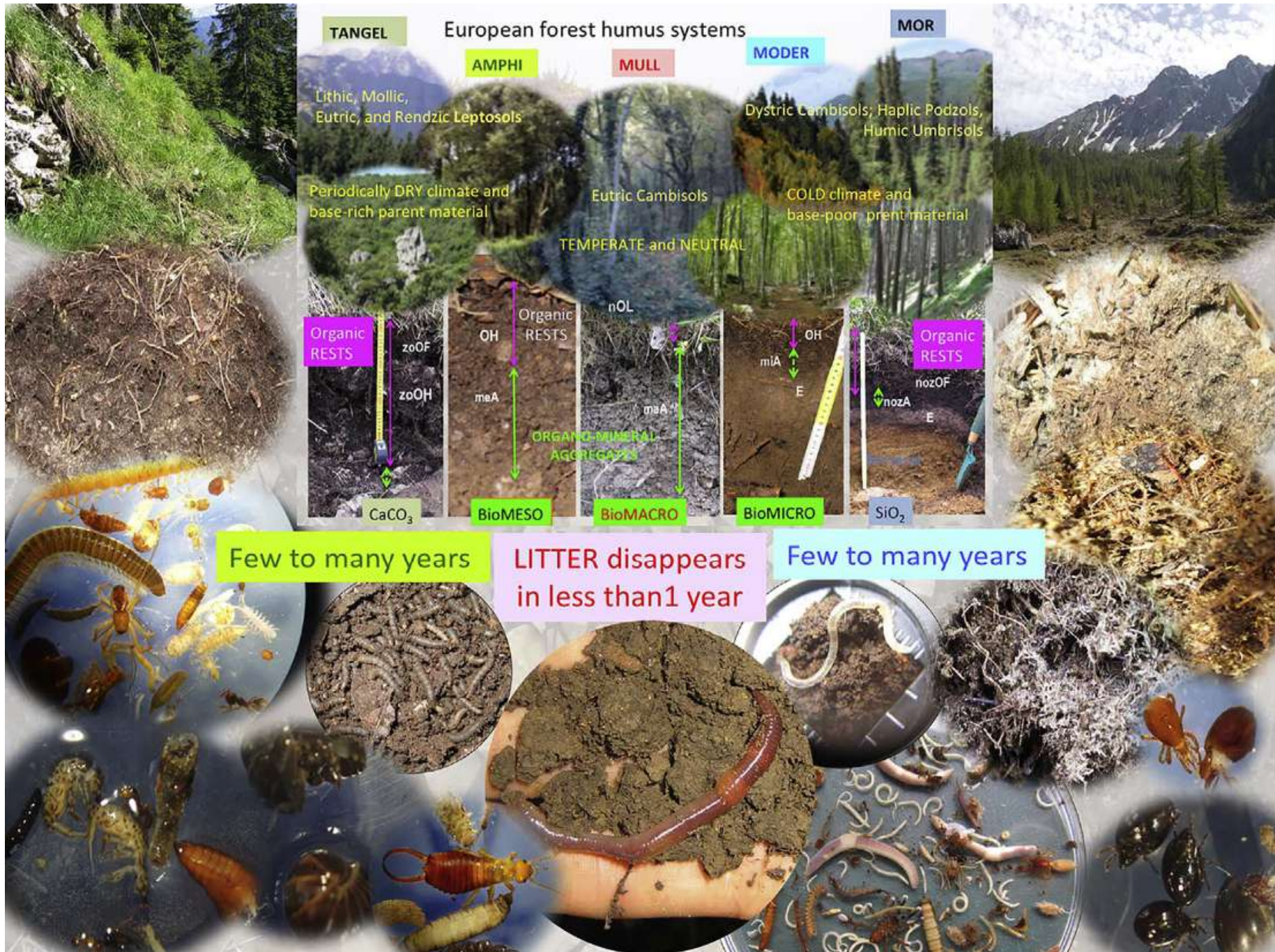
Климат, горные породы, состав сапротрофного комплекса почвенной биоты

Уровень биологической активности





Terrestrial humus systems



Выделение диагностических Органических горизонтов

Terrestrial-Hydro-
forms:

OL

zoOF nozOF

OH, szoOH

Наличие, мощность, прерывистость
растительные остатки: соотношение
различимых и неразличимых
компонентов, фрагментированность
экскременты беспозвоночных:
обилие, размер, форма

Характер перехода O/A

Histo-Epihisto-forms:

HF

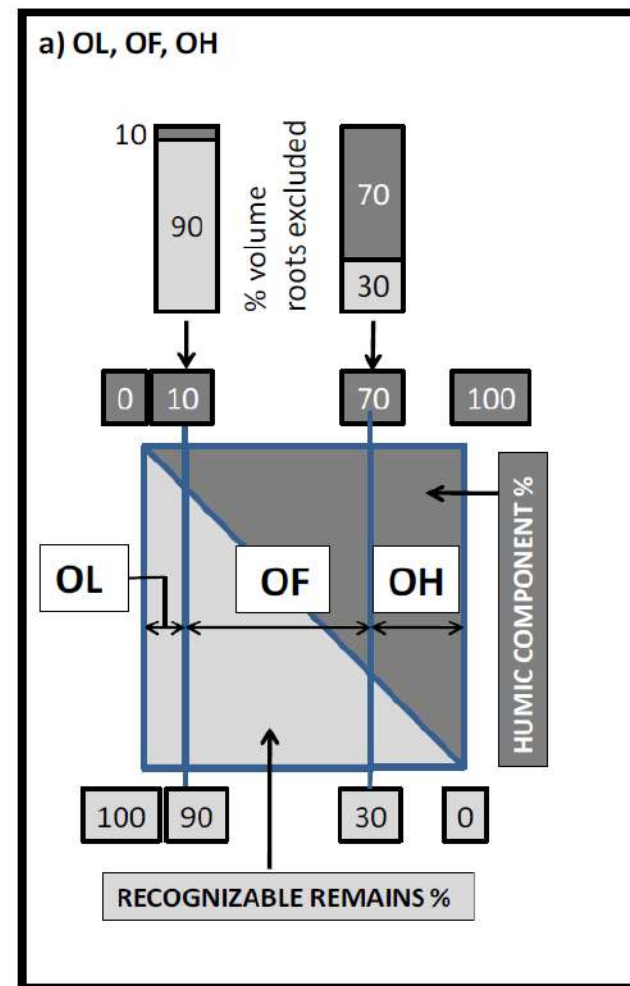
HM

HS

Органо-минеральные горизонты

maA, meA, miA, nozA

структура, размер
отдельностей, цвет, признаки
оглеения



Зоогенно- и незоогенно- трансформированный материал



Органические горизонты



zoOF (Dysmoder)



**OH
(Dysmoder)**



OL+nozOF (пр. 9, Еумор, 2 км)





nozOF (Eumor)



nozOF (Eumor)

Органоминеральные горизонты

meA, Oligomull



miA, Dysmoder



Европейская морфофункциональная классификация форм гумуса

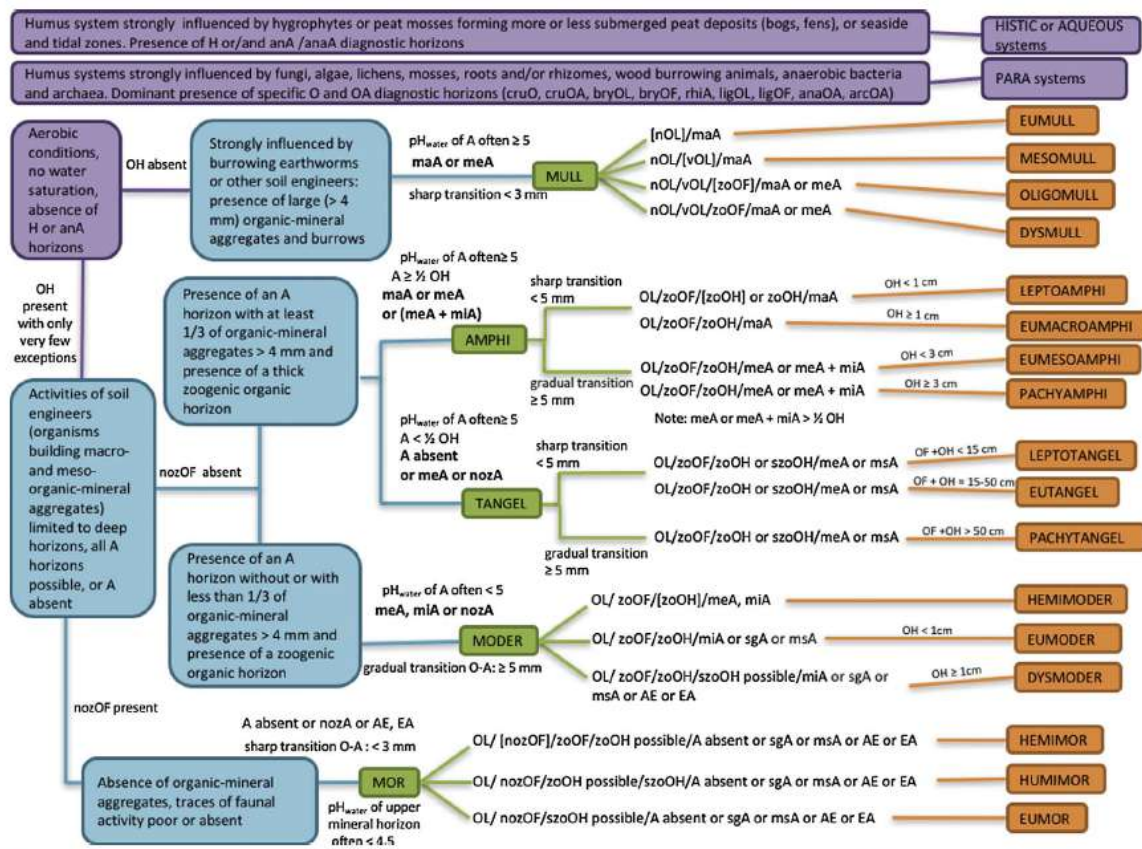
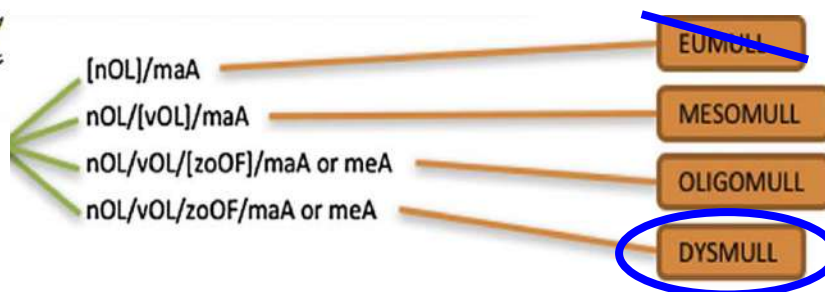
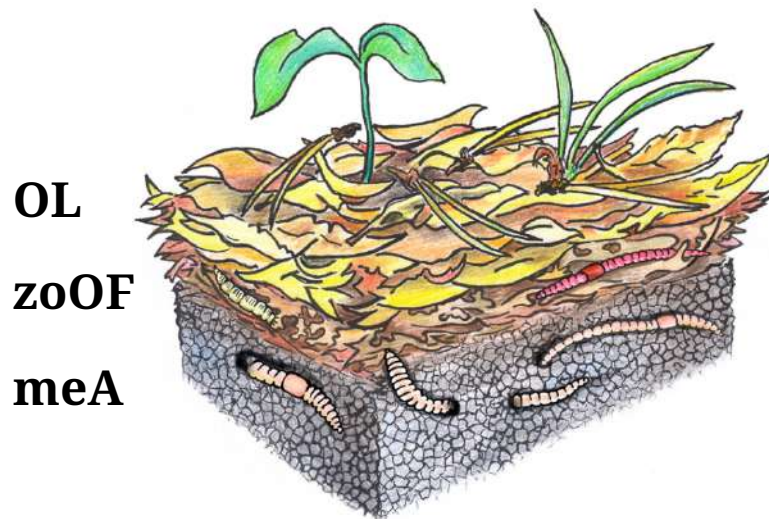


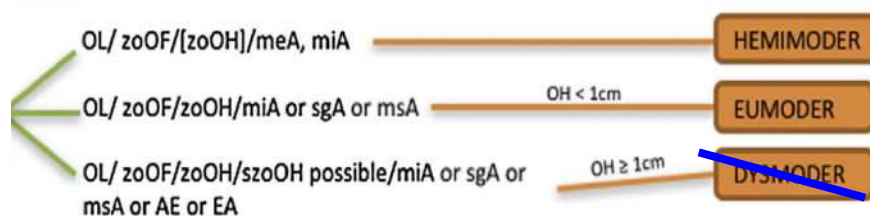
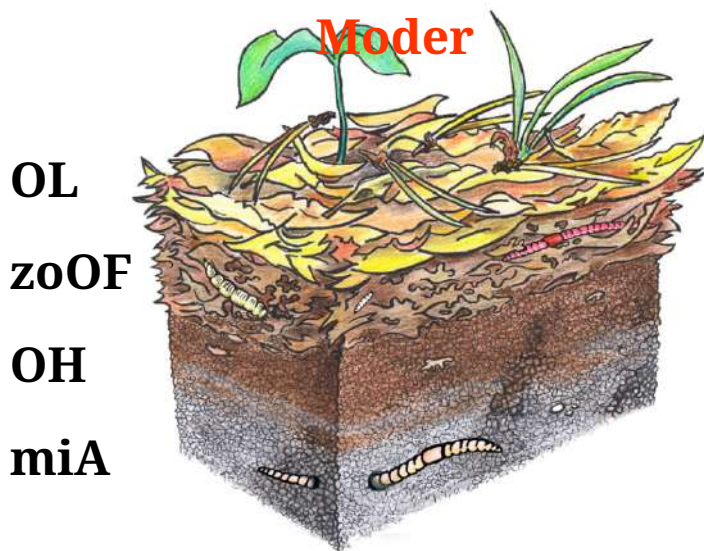
Fig. 24. Dichotomic key of classification of Terrestrial Humus systems and Forms. The first bifurcation shares (or separates) Terrestrial from Histic and Aqueous or Para systems. Specific articles have been prompted for these hydromorphic or specialized complex systems, which are collected in Humusica 2, respectively with the numbers 9 and 12 or 13 in their titles. Slightly different from the keys reported in the text of this article, this simplified Terrestrial field key requires some field experience but allows a faster, equivalent, correct classification. Legend: zo = zoogenic; noz = non zoogenic; szo = slightly zoogenic. Example: nozA corresponds to a non-zoogenic A horizon, which groups msA (massive A) and sgA (single grain A). For rigorous definitions of all diagnostic horizons and criteria of classification, please refer to Humusica 1, article 4, in which are reported even pictures and tables solving a large number of doubts raising during field activities of humipedon classification.

Равновесные состояния: Южнотаежные леса Среднего Урала

Система Mull



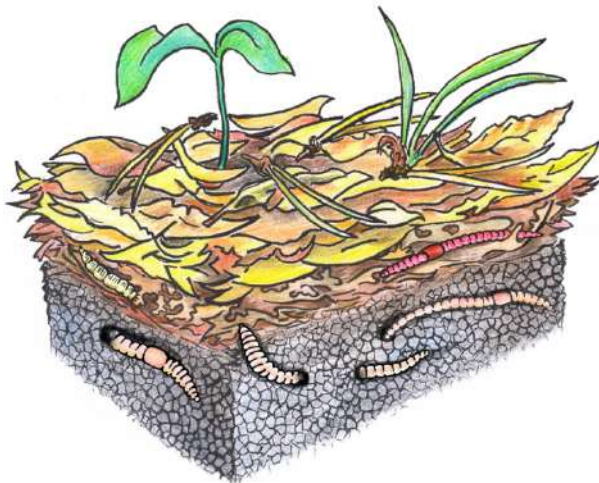
Система Moder



Снижение скорости деструкции
Снижение биологической активности

Равновесные состояния: Южнотаежные леса Среднего Урала

Система Mull



Формы гумуса

Mesomull



Oligomull



Dysmull



Hemimode
r



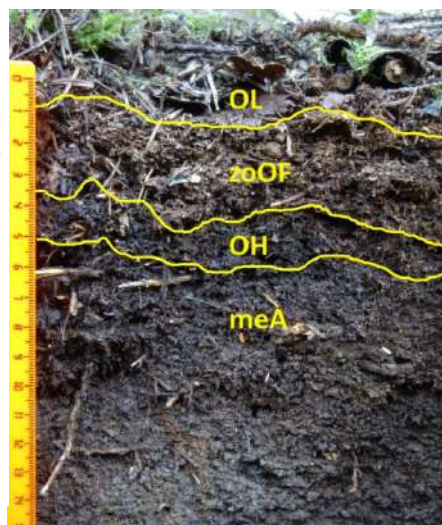
Eumoder

Доминирующ
ие
деструкторы



Эндогейные и
эпигейные
дождевые
черви

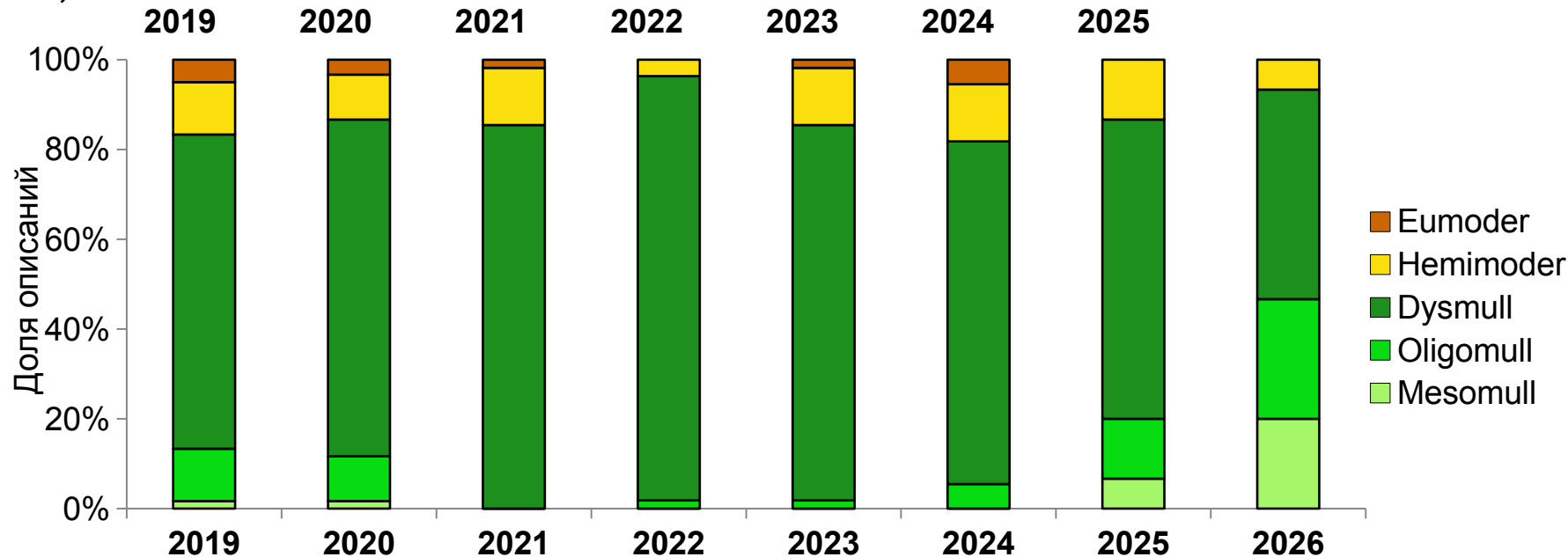
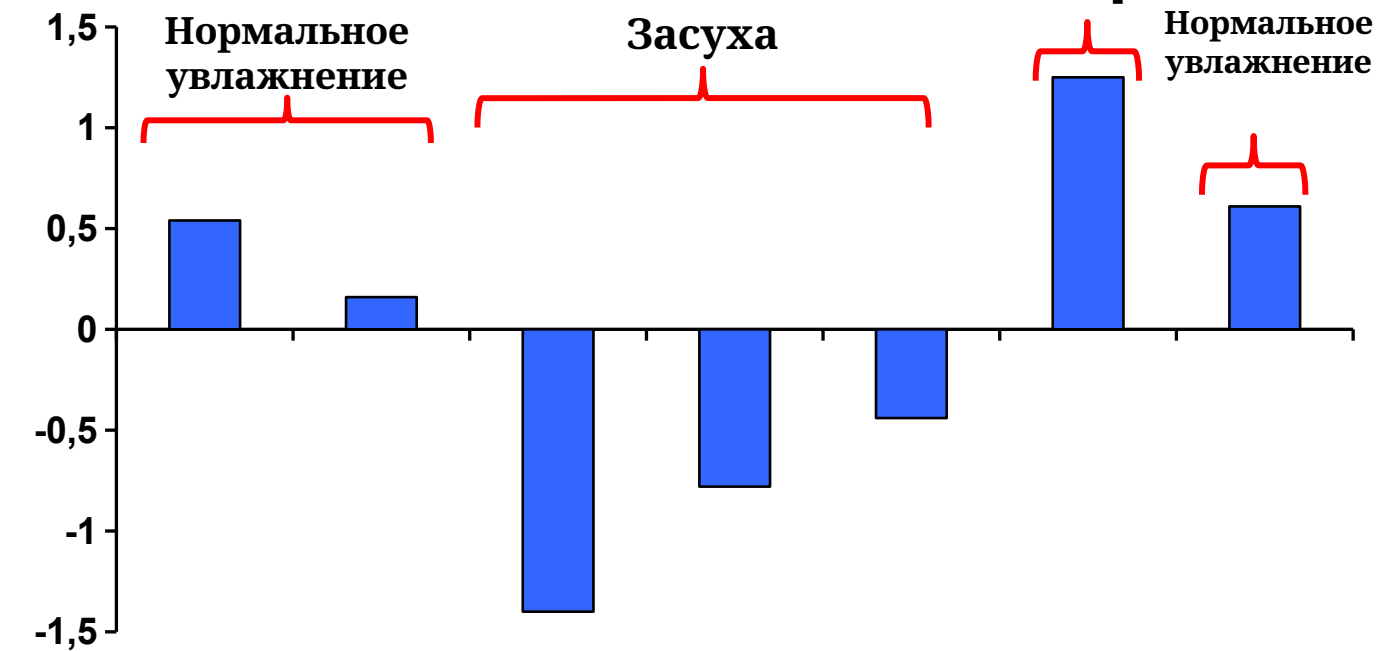
Moder



Эпигейные
черви
энхитреиды

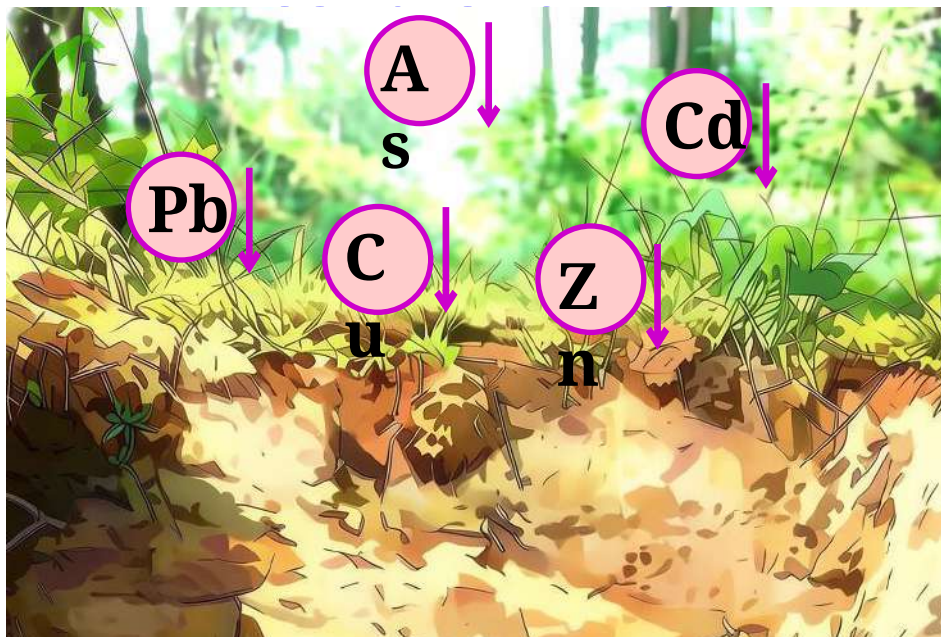
SPEI_5, мм (май–сентябрь)

Рассчитан на
основе
непрерывного
ряда
метеонаблуден
ий за период
1950–2025 гг.



Неравновесные состояния

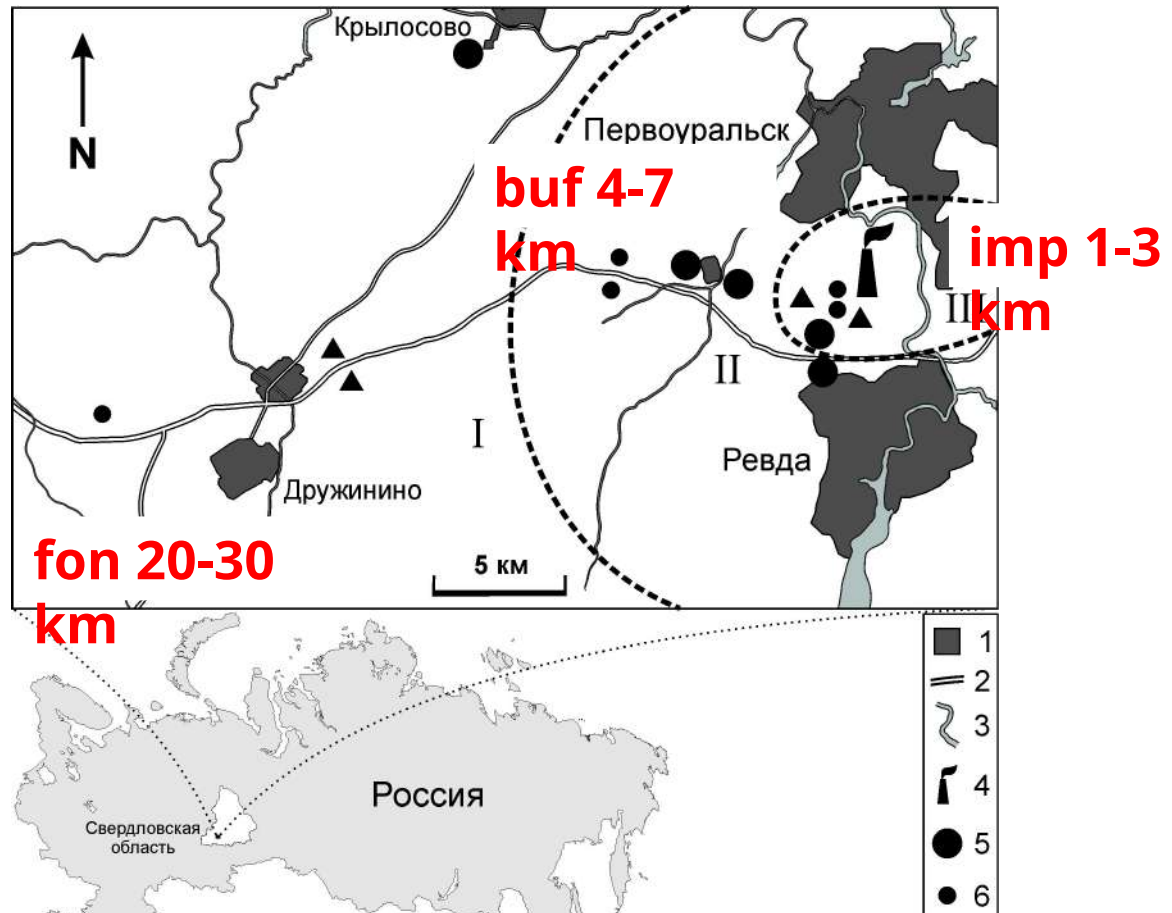
Промышленное



Рекреация



Промышленное загрязнение: Среднеуральский медеплавильный завод



Исследовано 320 пробных площадей: 91 – в фоновой зоне, 121 – в буферной зоне, 108 – в импактной зоне.

На каждой пробной площади 25x25м проведена диагностика форм гумуса в 5 прикопках (по 3

Промышленное
загрязнение:
**Среднеуральский металлургический
завод**

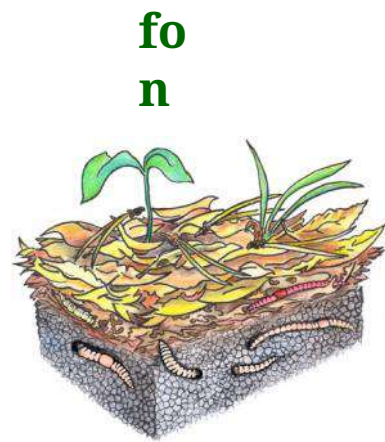


Фоновая зона

Импактная зона



Формы гумуса: деградация в градиенте промышленного загрязнения



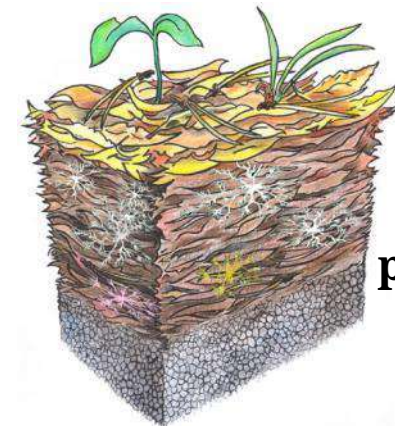
**MUL
L**



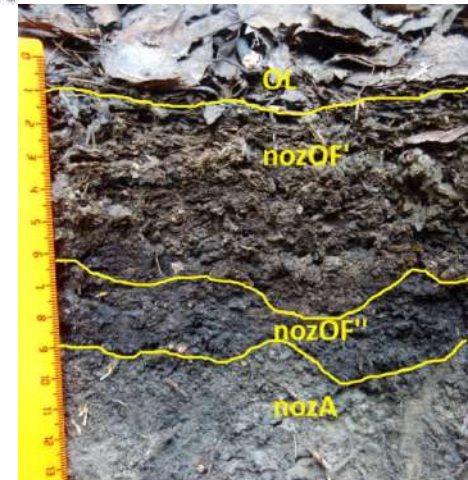
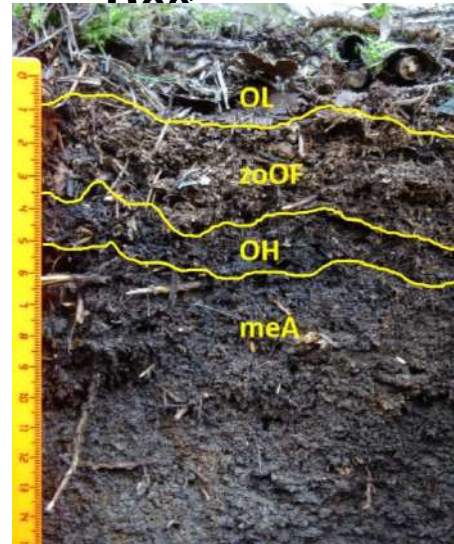
**MODER
Deg**



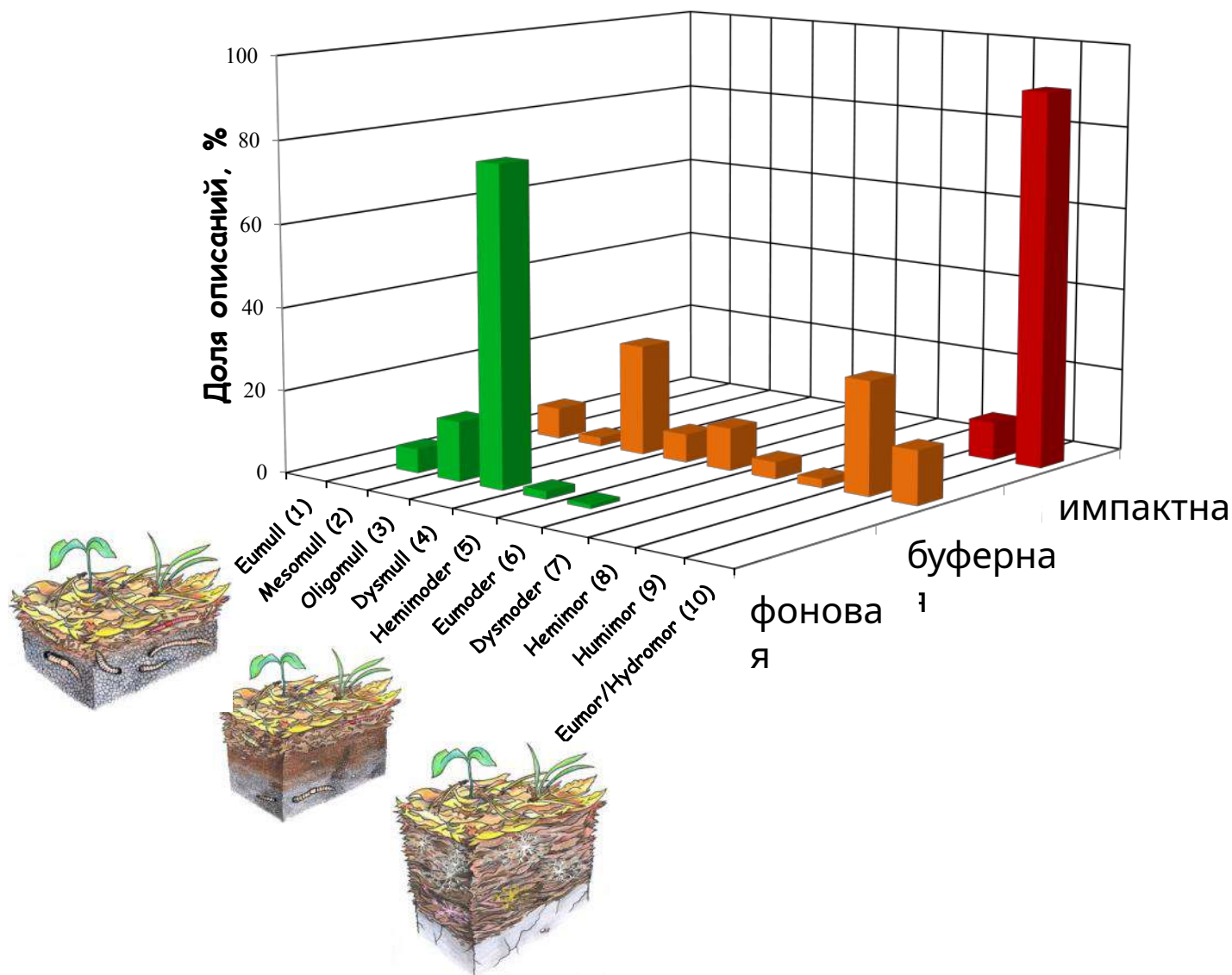
**MOR
Deg Term**



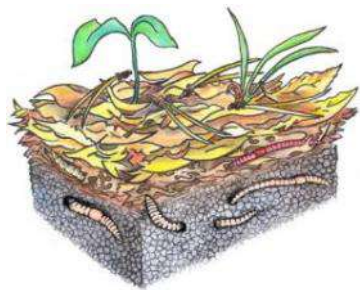
**MOR
Deg
preTerm**



Формы гумуса: деградация



Макрофауна, ~ экз
проба⁻¹



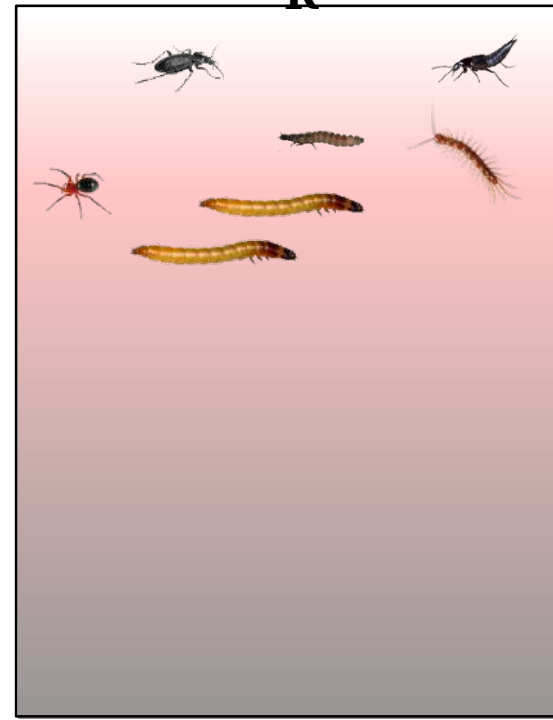
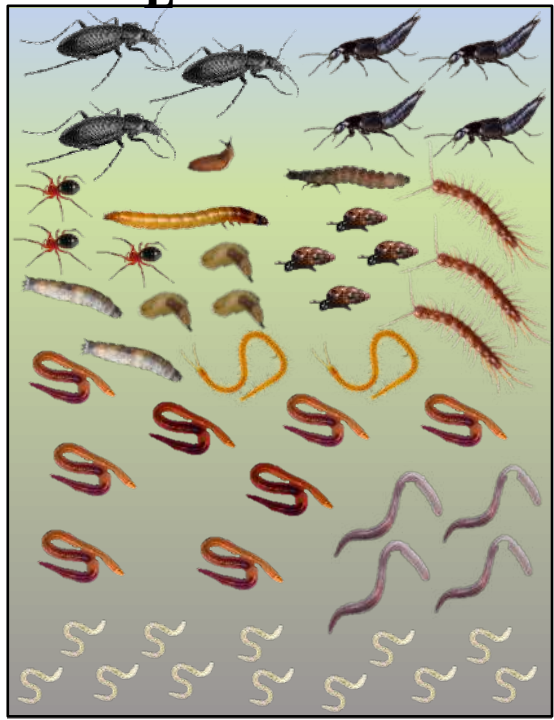
MUL
L



MODER
Deg



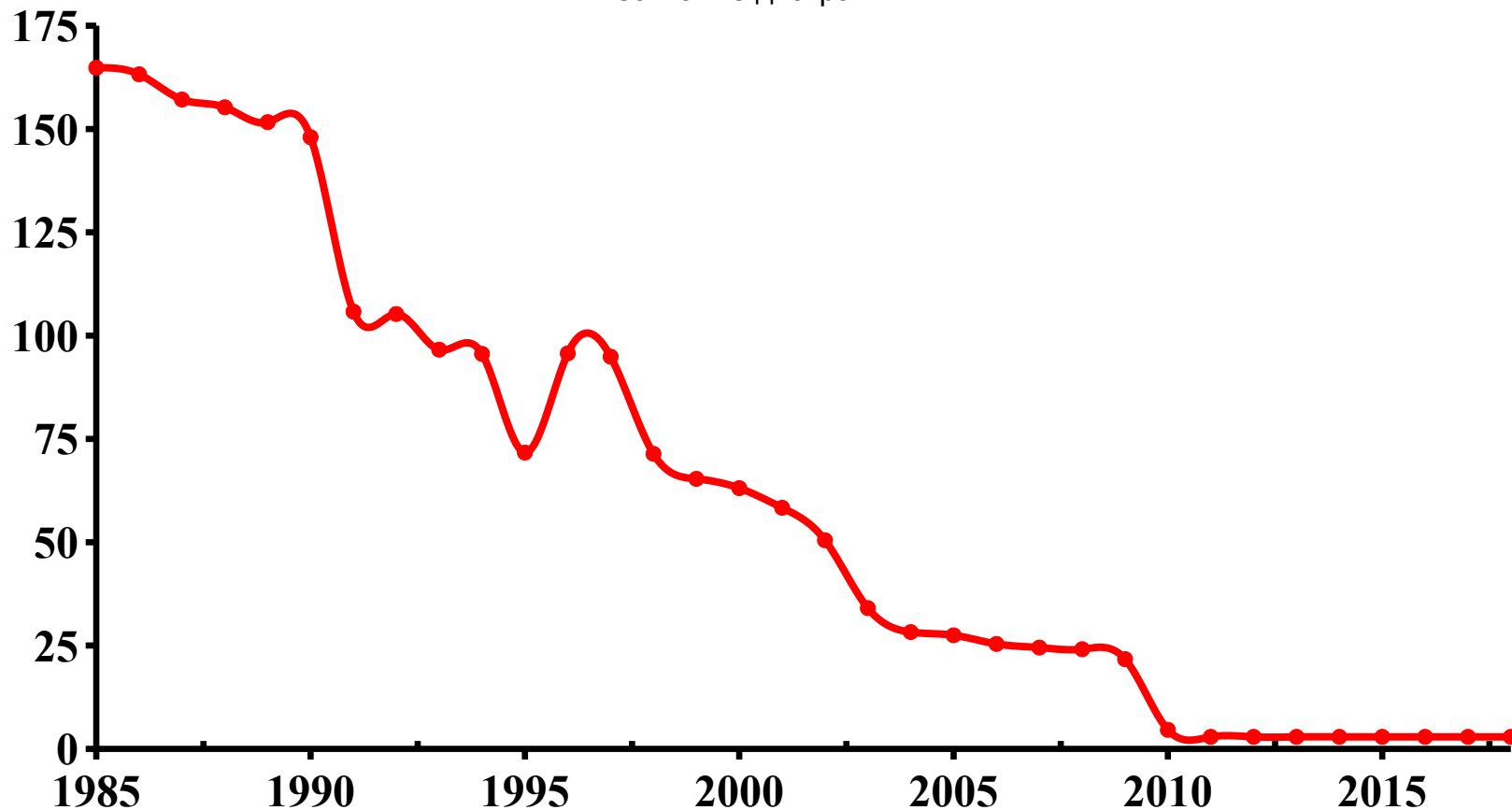
MO
R



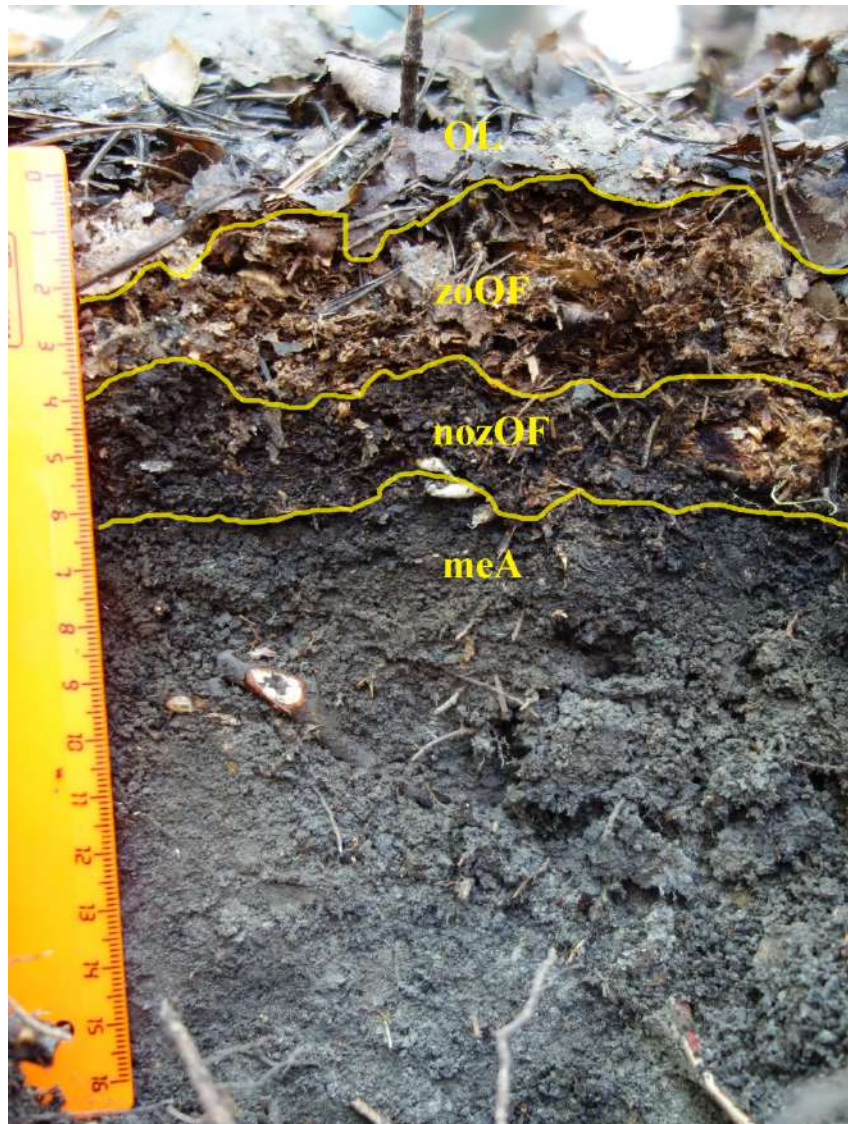
Динамика атмосферных выбросов СУМЗ

Валовый выброс, тыс. т / год

Заглавие диаграммы

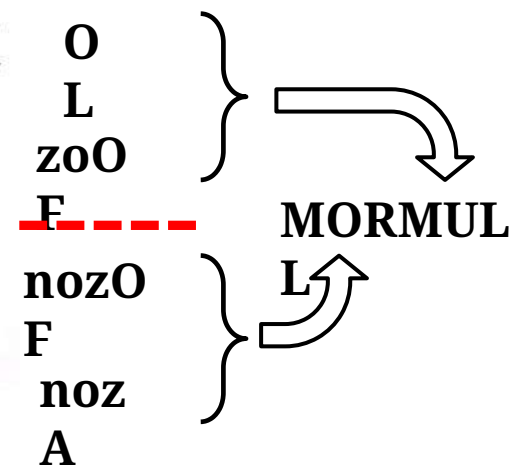
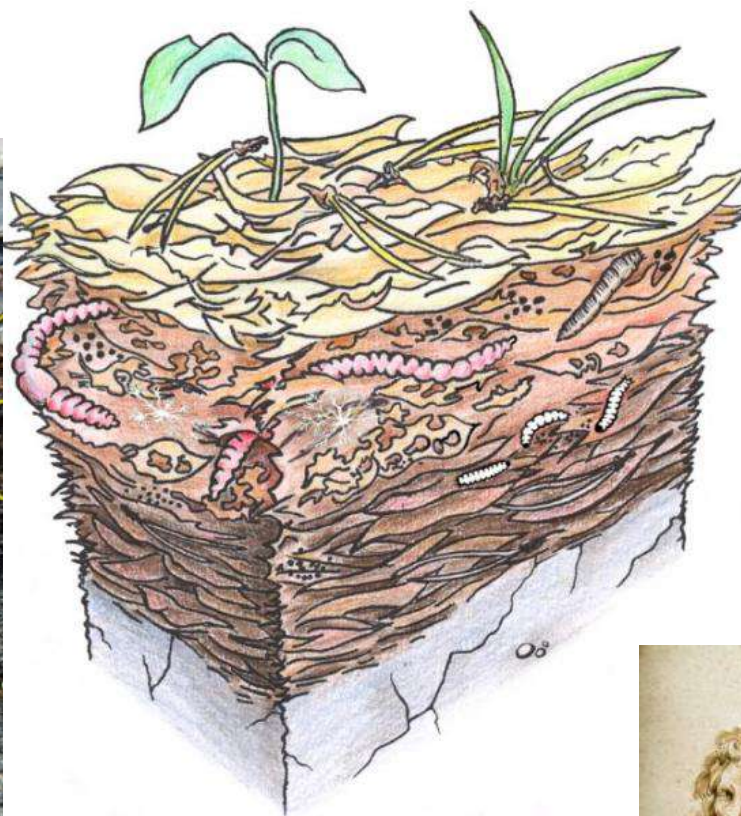
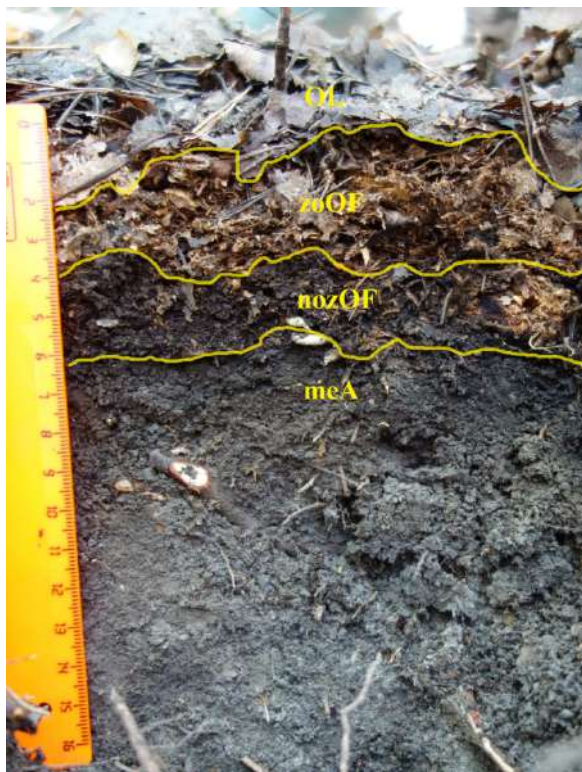


Реградация форм гумуса: нетипичные формы



21 вариант нетипичного строения профилей

Формы гумуса: «химеры»



Формы гумуса: вертикальный градиент токсичности

Eumor

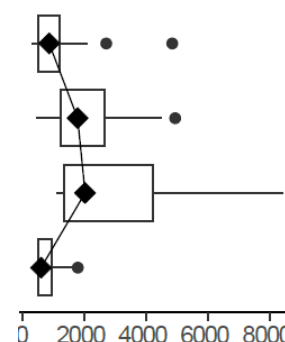
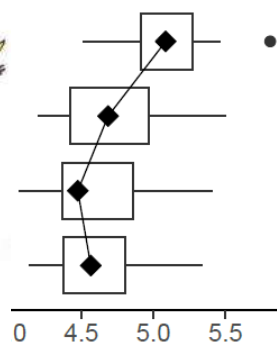
r

OL+nzoOF

nzoOF{1}

nozOF{2}

nozA



◆ Median
□ 25%-75%
| Non-Outlier Range
● Outliers

n=20

Eumormu

ll

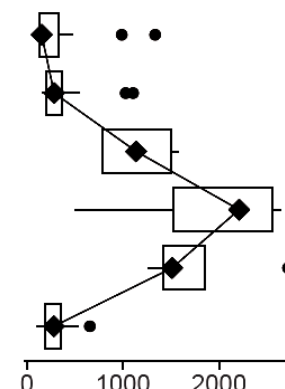
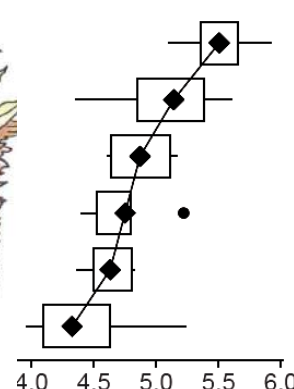
OL

zoOF

nozOF+zoOF

nozOF

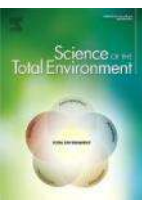
nozA



n=1
0

pH

Cu, мкг г⁻¹



Формы гумуса: динамика в импактном регионе

**Деградация: нарушение
строения горизонтов**

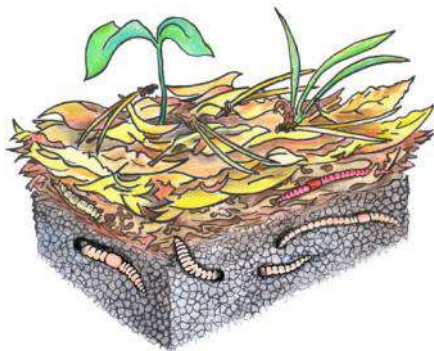


Подавление сапрофагов

**Реградация: восстановление
строения**



**Реколонизация сапрофитами
после почти полного
прекращения поступления
поллютантов**

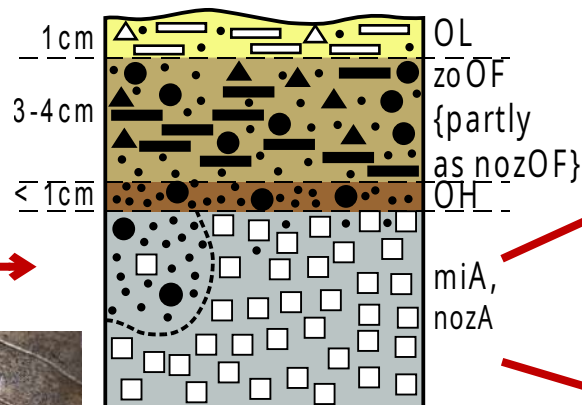
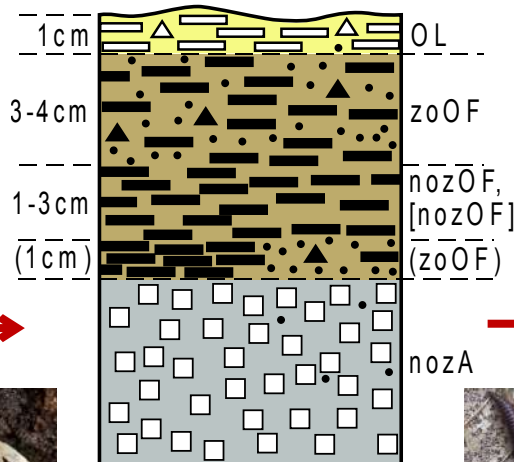
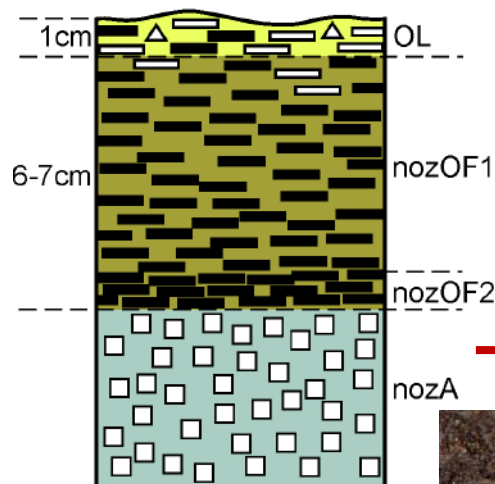


Реградация: путь 1 через промежуточные стадии модер-форм с типичным строением, или формы, имеющие аналоги среди типичных форм

Eumor

**Hemimoder
Reg Term**

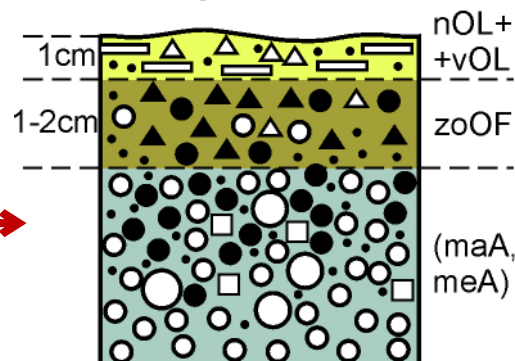
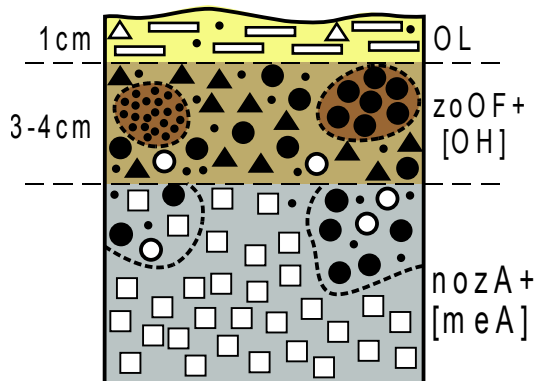
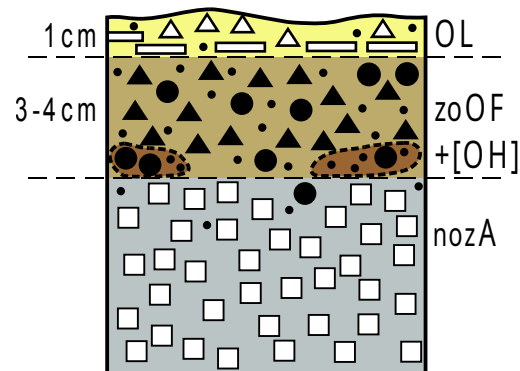
**Eumoder
Reg Term**



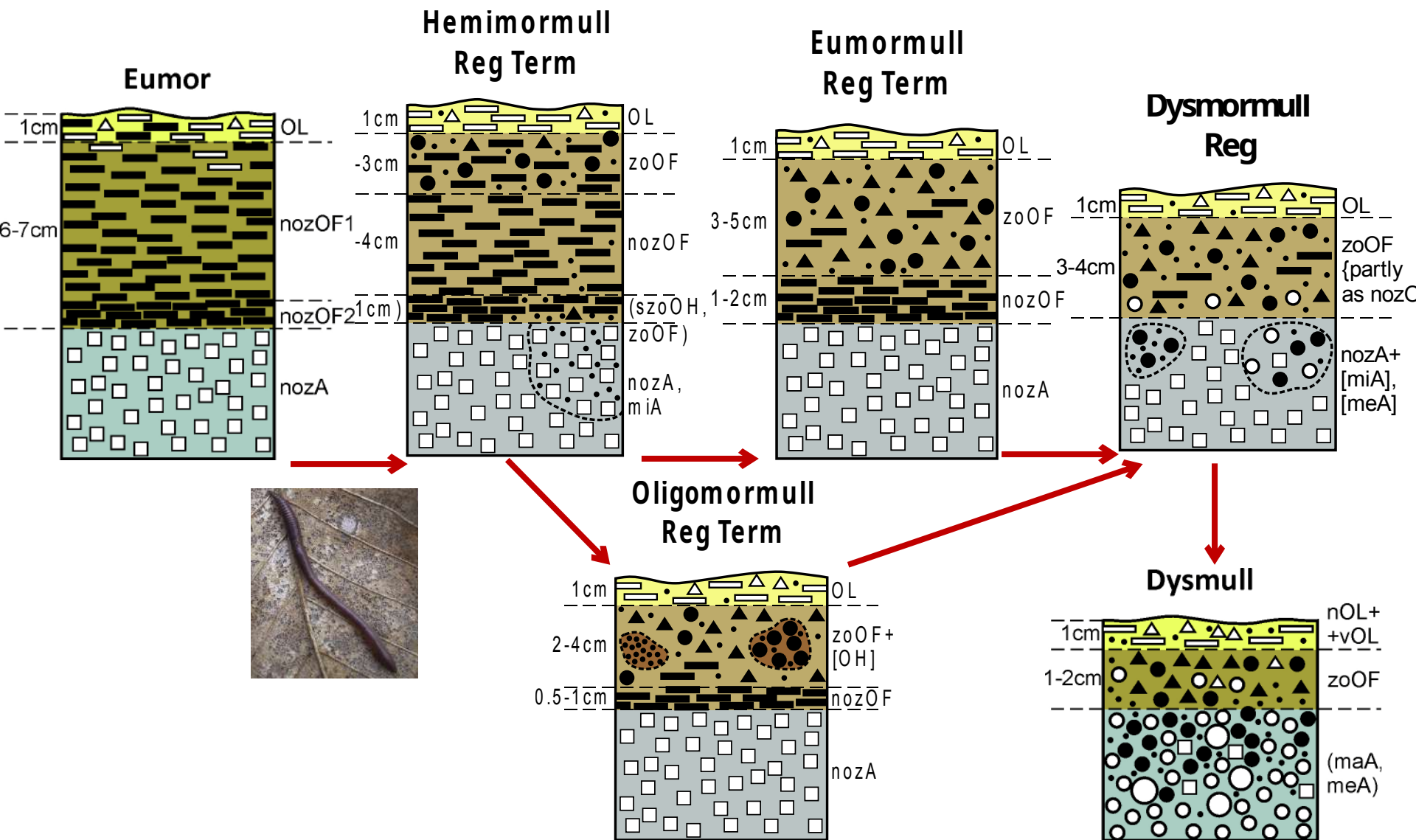
**Hemimoder
Reg Term**

**Quasihemimoder
Reg**

Dysmull



Реградация: путь 2 через нетипичные формы, не имеющие аналогов



Типология нетипичных форм и причины их формирования

характер заселения
загрязненных органических
горизонтов крупными
сапрофитами

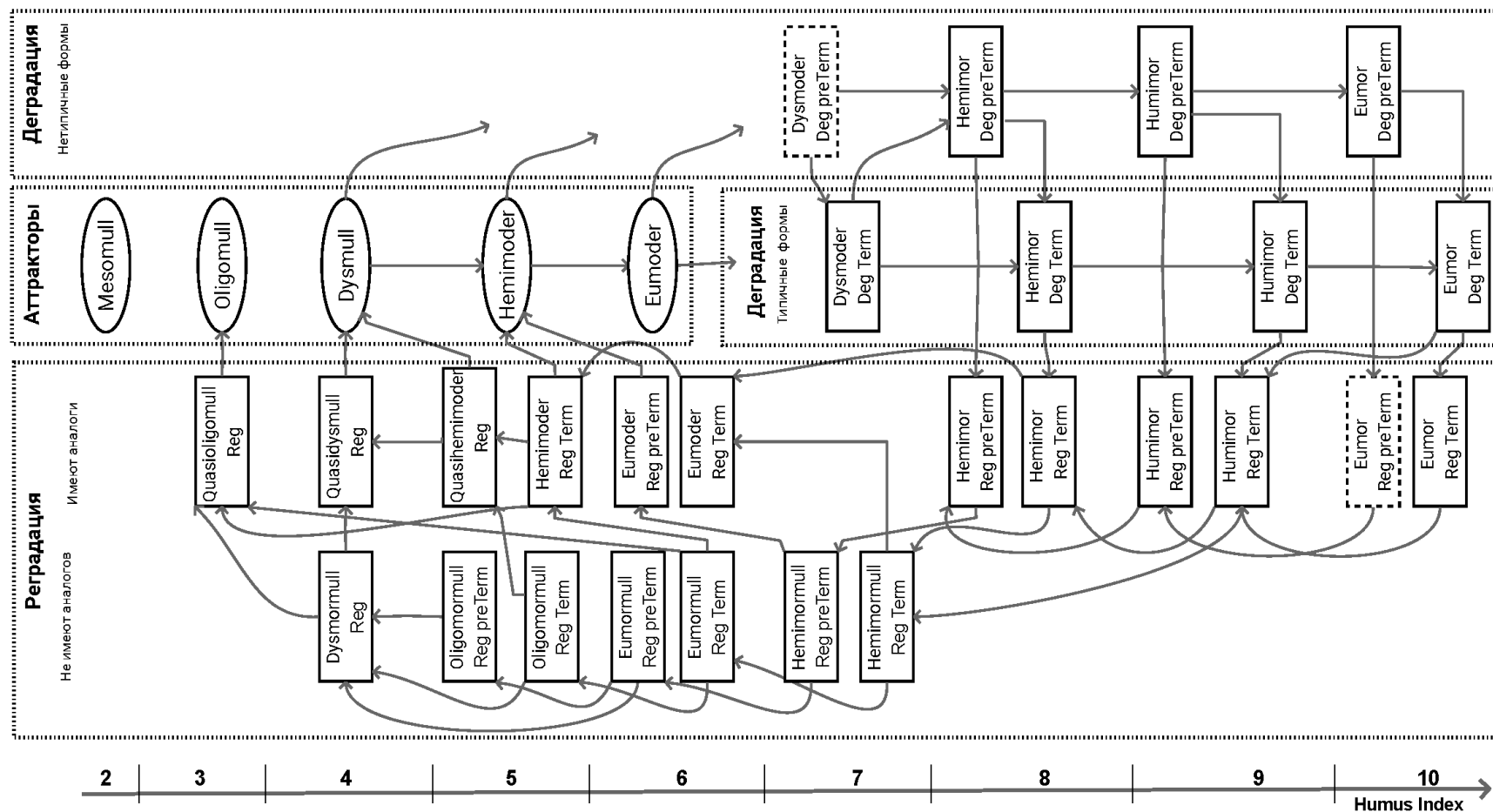
неодинаковая скорость
реакции разных
горизонтов на изменение
внешних условий

Диссонанс в пределах О

Диссонанс между О и А

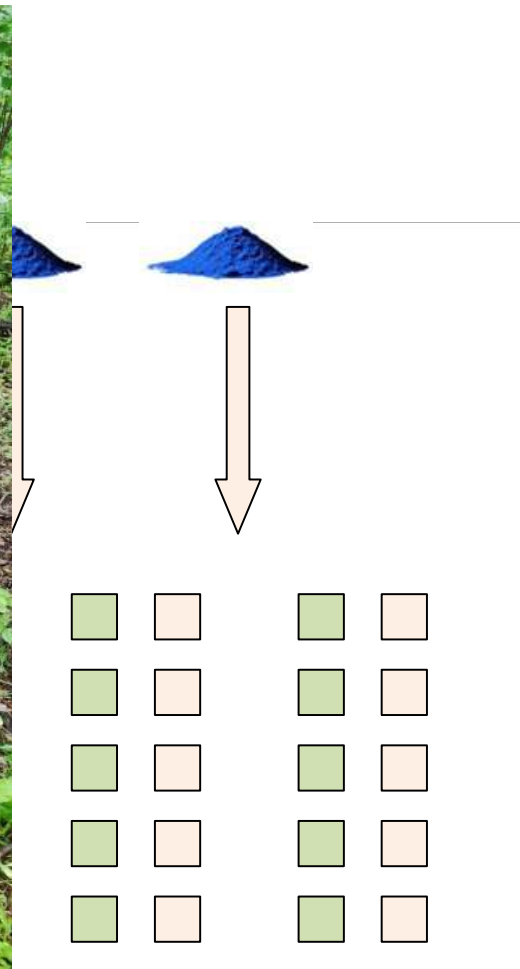
			Наличие	
			Инверсия слоев / горизонтов	Неоднородность горизонта
Отсутствие	Отсутствие	null esomull igomull smull Hemimoder Eumoder Dysmoder Deg Term Hemimor Deg Term Humimor Deg Term Eumor Deg Term	Eumor Reg Term Humimor Reg Term Hemimor Reg Term	Eumoder Reg Term
	Наличие	Запаздывание деградации А Dysmoder Deg preTerm Hemimor Deg preTerm Humimor Deg preTerm Eumor Deg preTerm	<i>Eumor Reg preTerm</i> Humimor Reg preTerm Hemimor Reg preTerm Hemimormull Reg preTerm Eumormull Reg preTerm Oligomormull Reg preTerm	Eumoder Reg preTerm
Наличие	Наличие	Запаздывание восстановления А	Hemimormull Reg Term Eumormull Reg Term Oligomormull Reg Term	Hemimoder Reg Term Quasihemimoder Reg Quasidysmull Reg Quasioligomull Reg Dysmormull Reg

Формы гумуса: эволюция в импактном регионе



Натурный эксперимент: быстрая дорога к МОРУ и обратно

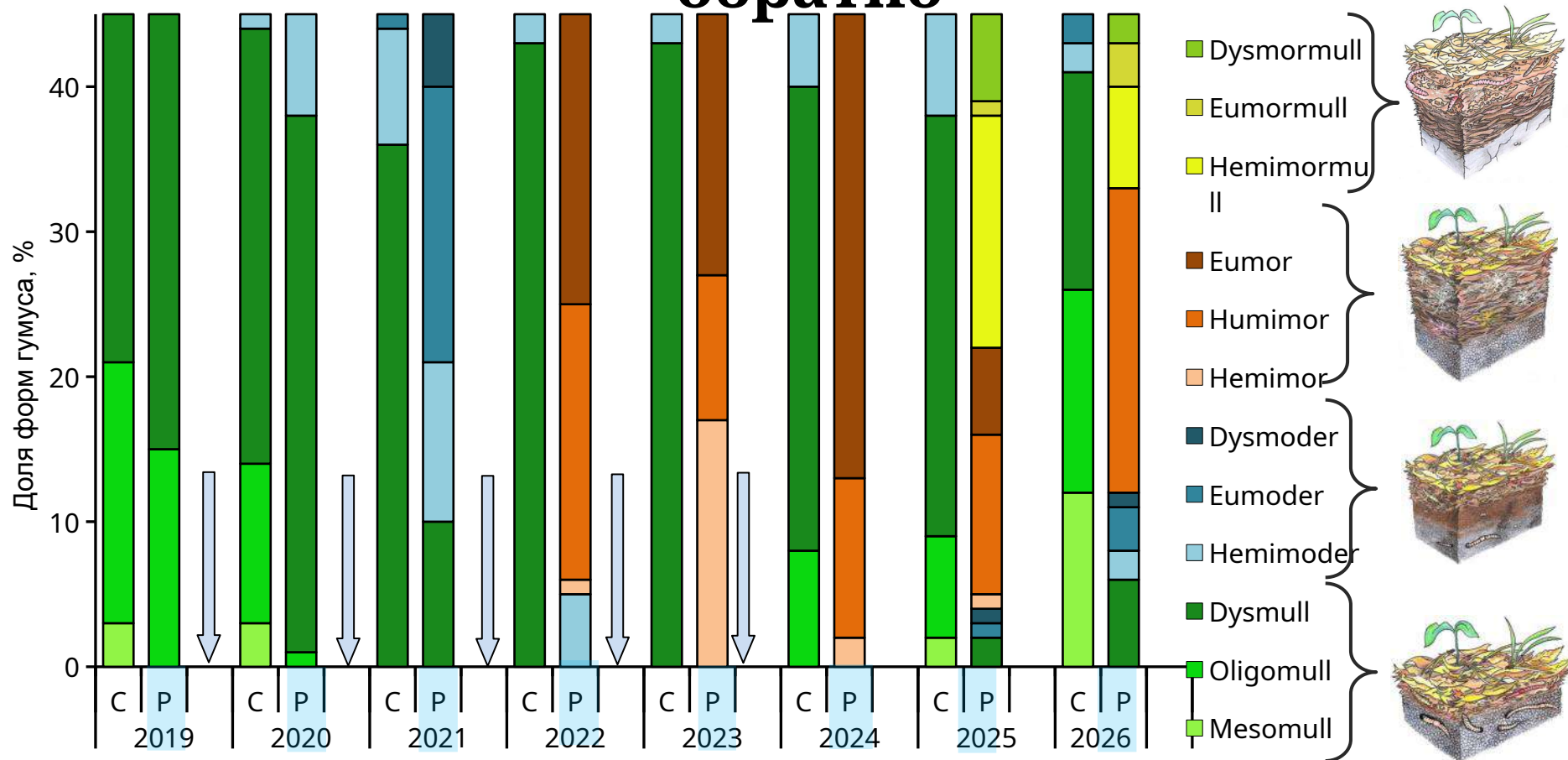




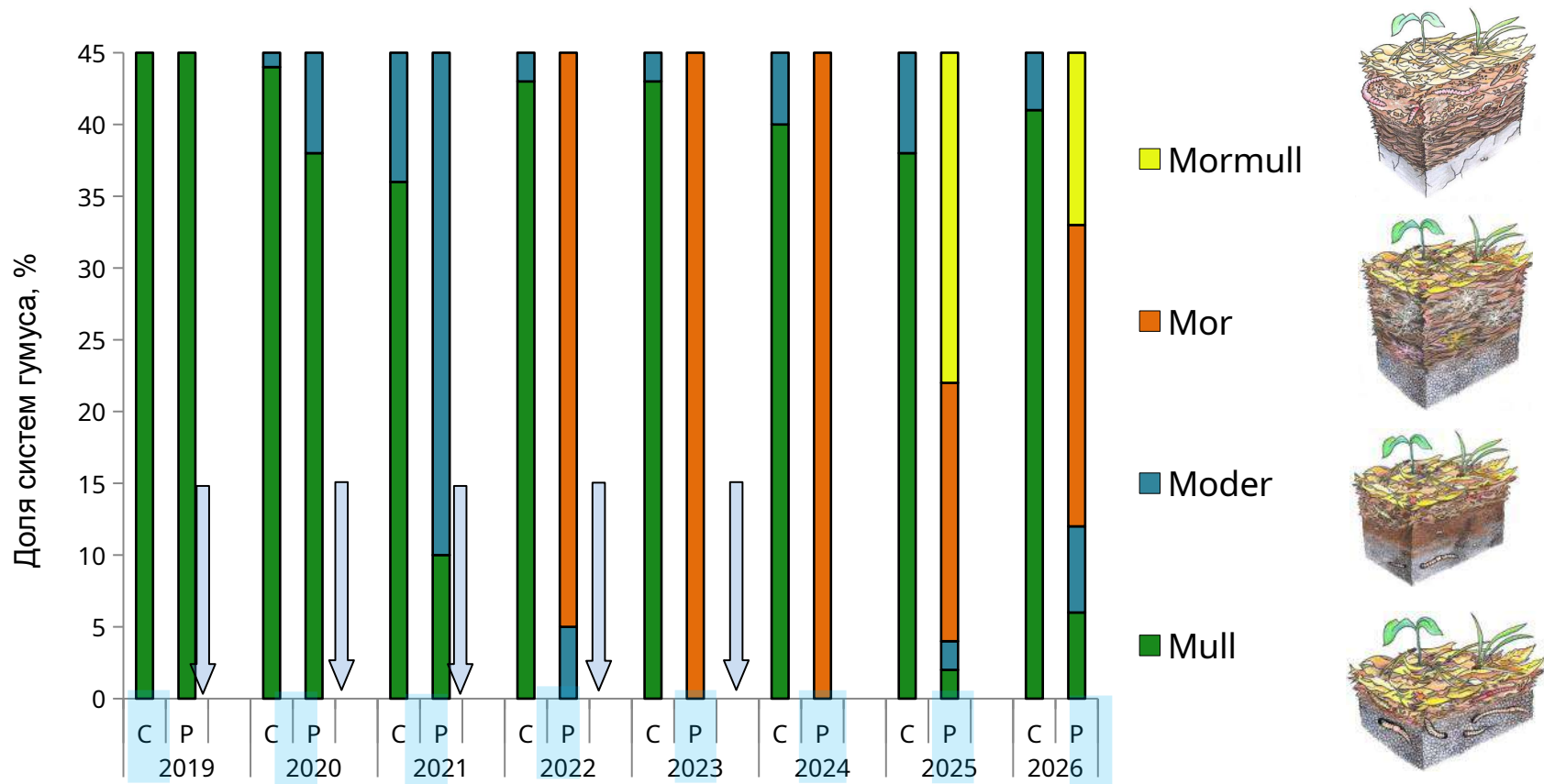
**3 блока по
5 площадок
1.5x1.5 м**

_____ 5 лет _____

Натурный эксперимент: быстрая дорога к МОРУ и быстрая обратно



Натурный эксперимент: быстрая дорога к МОРУ и быстрая обратно



Рекреация: Юго-западный лесопарк , г. Екатеринбург



Рекреация: Юго-западный лесопарк , г. Екатеринбург

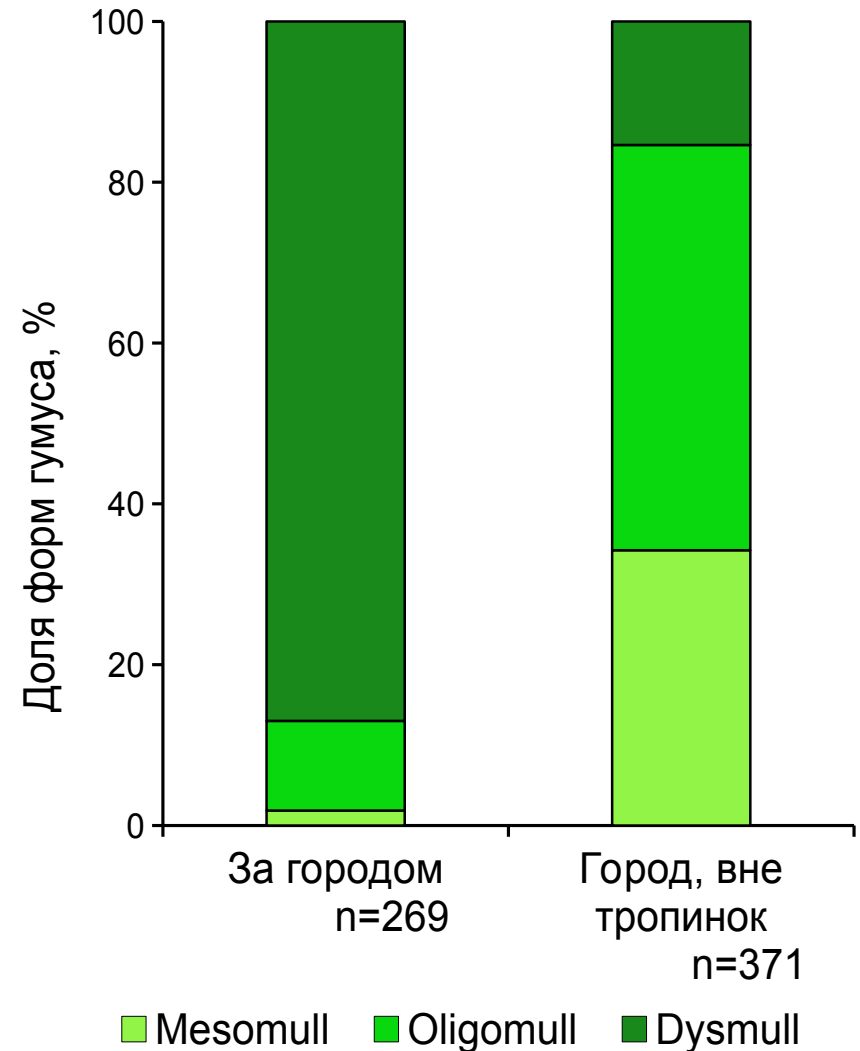


Рекреация отсутствует или минимальна

За городом, сосновые леса
в окрестностях
Екатеринбурга



Юго-западный лесопарк



Коркина И.Н., Габерштейн Т.Ю., Воробейчик Е.Л.
Влияние урбанизации на формы гумуса
внутригородских лесов естественного происхождения
(на примере Екатеринбурга) // Почвоведение. 2025.
№ 5. С. 500-511.

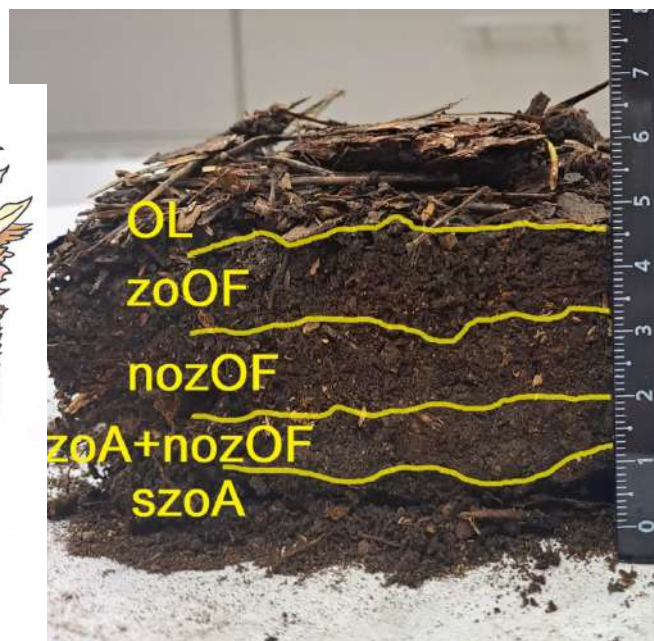
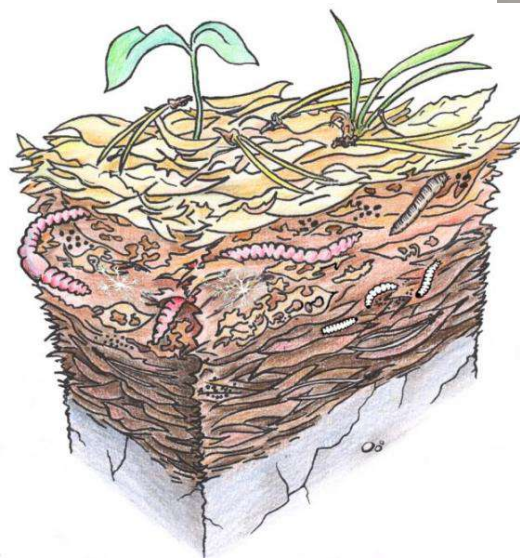
Рекреация: Юго-западный лесопарк , г. Екатеринбург



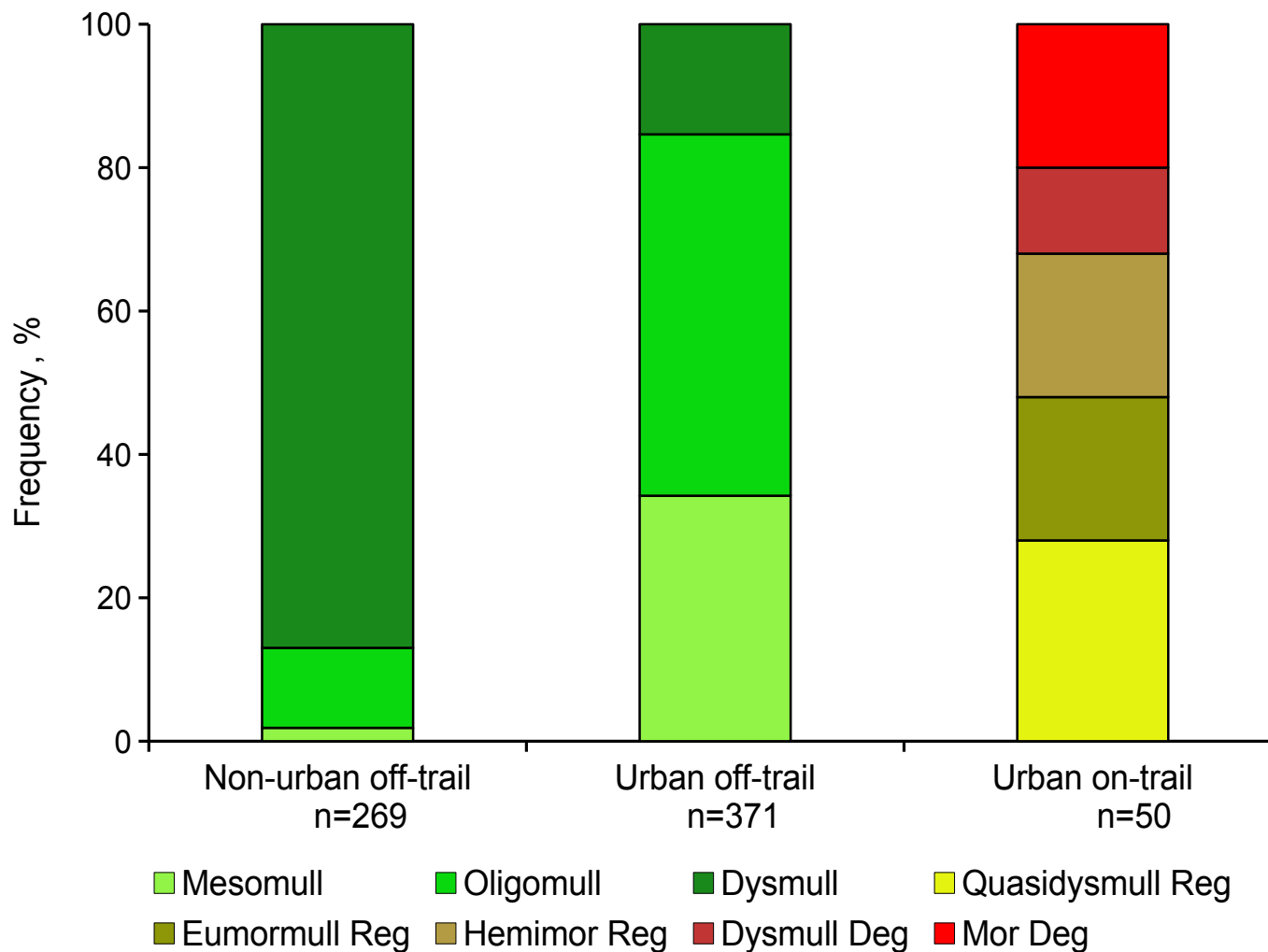
Рекреация: незоогенные горизонты и Мор формы



Рекреация: химеры

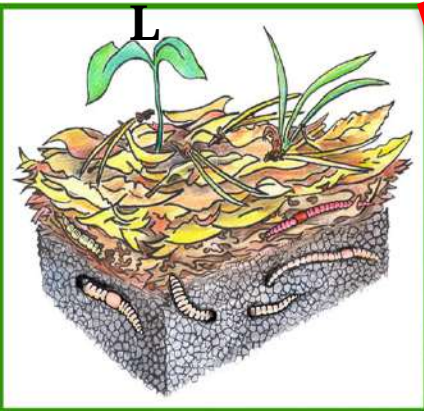


Рекреация: деградация и регрессия

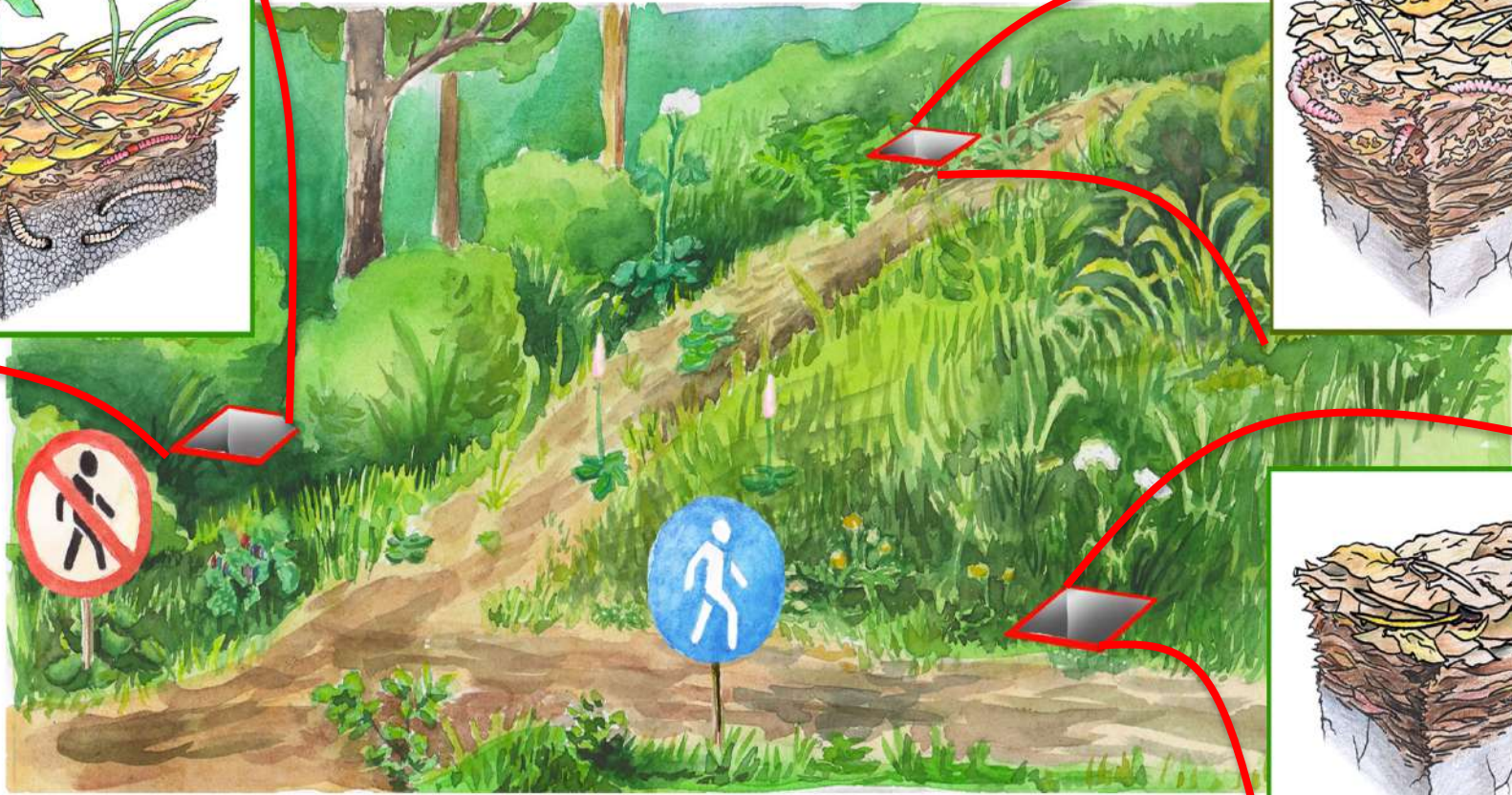
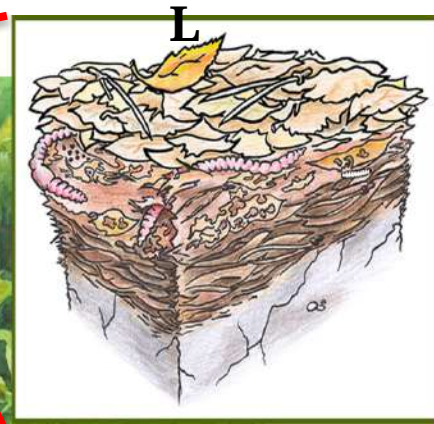


Формы гумуса: динамика при рекреации

MUL



MORMUL



The online course "Forest Humus: Classification – Dynamics – Climate **MO**
Change", University of Padua, Italy **R**

<https://lifelonglearning.unipd.it/local/dash/addon/dashboard/dashboard.php?id=55>

Спасибо за внимание

Благодарю

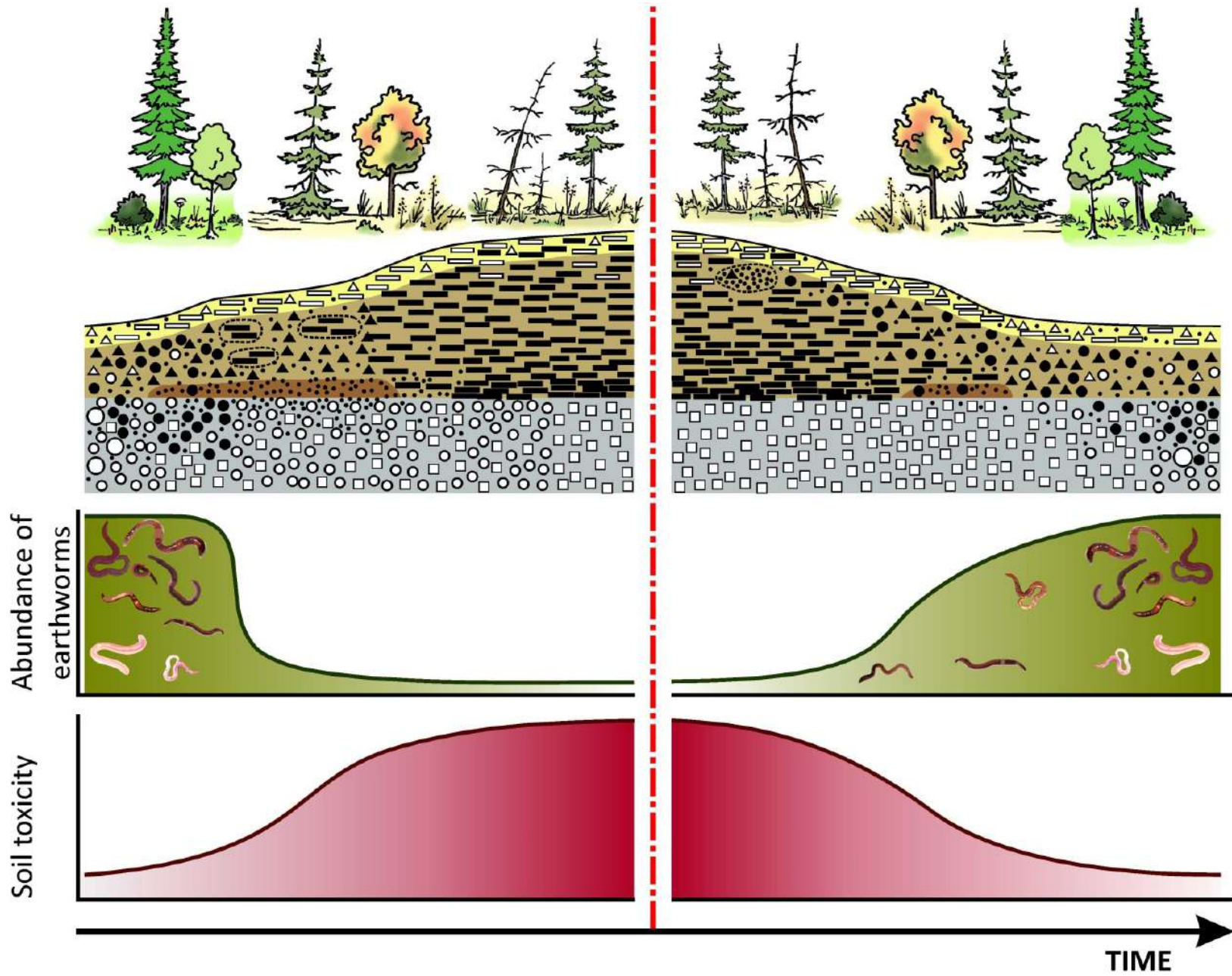
Максима Золотарева (за великолепные рисунки форм гумуса)

Ивана Сморкалова (купоросный эксперимент, индекс SPEI)

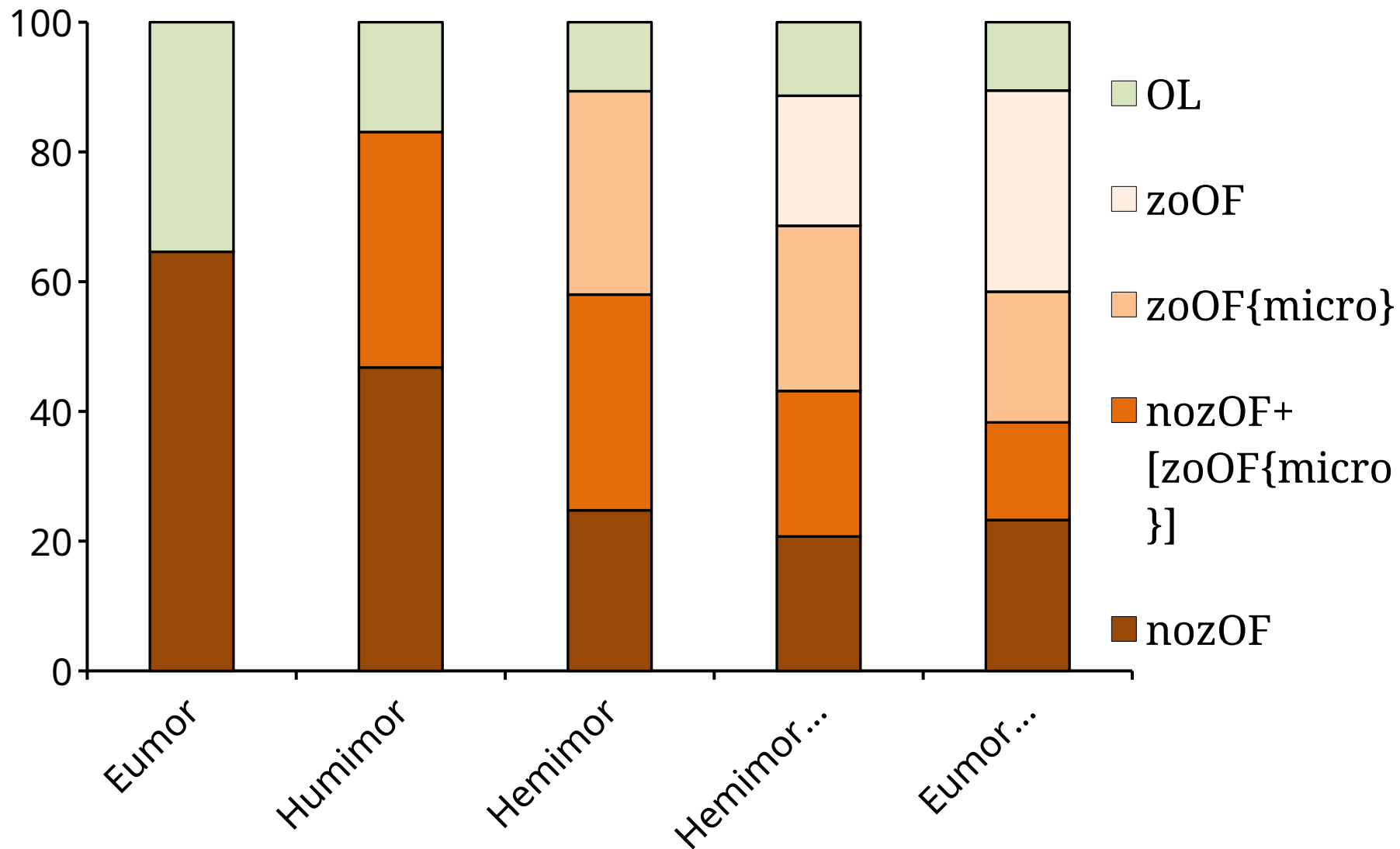
Татьяну Габерштейн (за любовь к городским лесопаркам, полевые, лабораторные работы)

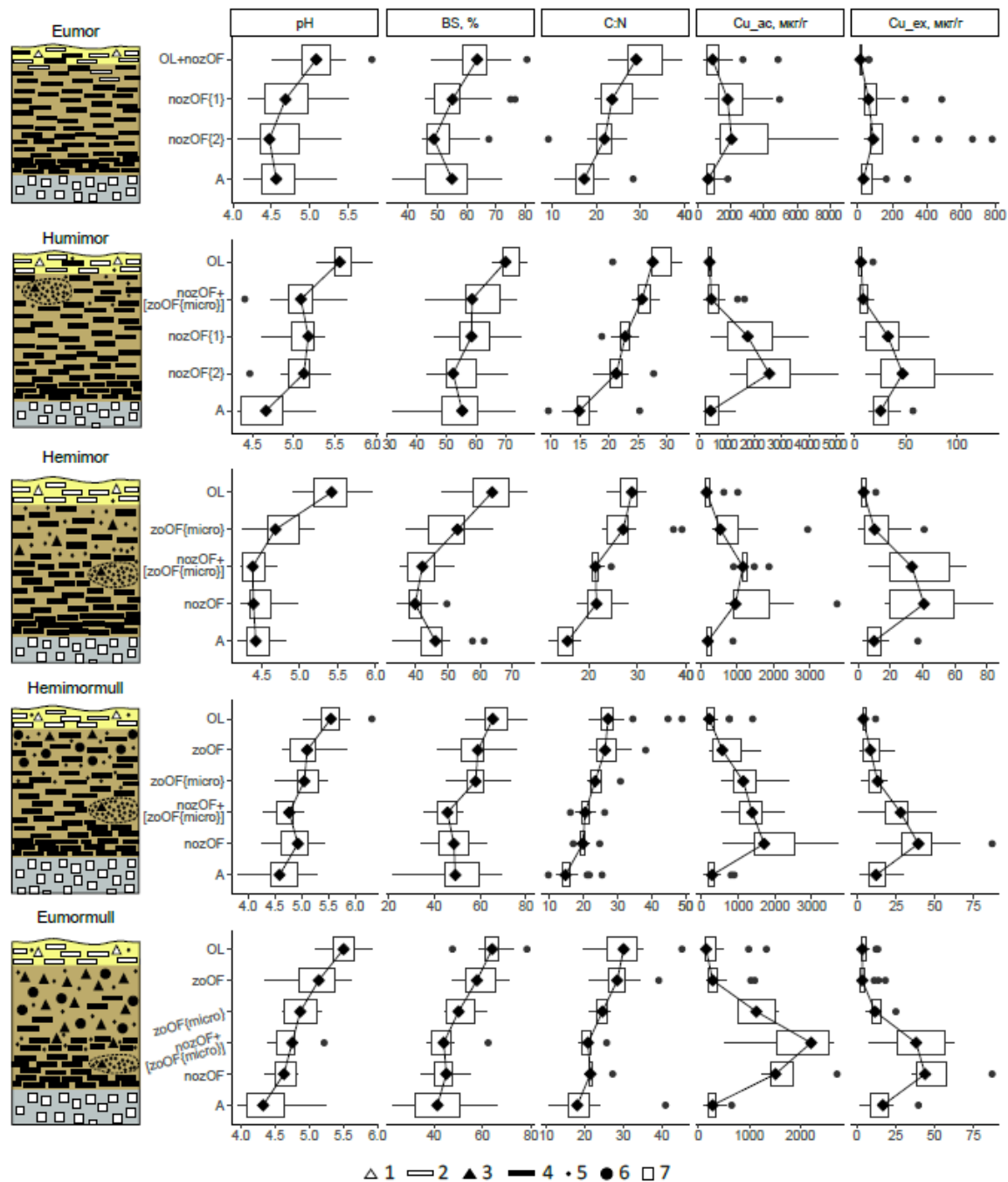
Константина Хороша (полевые, лабораторные работы)

Игоря Бергмана (организация полевых)



Вертикальный градиент токсичности. Стадии регрессии: ряд Eumor Deg – Humimor Reg – Hemimor Reg – Hemimormull Reg – Eumormull Reg





Форма гумуса, качество модели	Наблюдаемая группировка слоев	Предсказанная группировка слоев				Правильная дискриминация, %
		nozOF	nozOF+ [zoOF{micro}]	zoOF{micro}	zoOF	
Humimor $\lambda = 0.269$, $F(14, 14) = 2.7$, $p = 0.0361$	nozOF	17	1	–	–	94
	nozOF+[zoOF{micro}]	1	10	–	–	91
	zoOF{micro}	–	–	–	–	–
	zoOF	–	–	–	–	–
Hemimor $\lambda = 0.134$ $F(28, 42) = 2.6$, $p = 0.0025$	nozOF	10	1	0	–	91
	nozOF+[zoOF{micro}]	1	7	1	–	78
	zoOF{micro}	0	0	17	–	100
	zoOF	–	–	–	–	–
Hemimormull $\lambda = 0.111$ $F(42, 119) = 3.1$, $p < 0.0001$	nozOF	10	2	2	0	71
	nozOF+[zoOF{micro}]	2	11	0	0	85
	zoOF{micro}	0	0	7	3	70
	zoOF	0	1	1	18	90
Eumormull $\lambda = 0.38$ $F(42, 42) = 2.0$, $p = 0.0126$	nozOF	5	0	0	0	100
	nozOF+[zoOF{micro}]	0	7	0	0	100
	zoOF{micro}	0	0	4	0	100
	zoOF	0	0	0	15	100