

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ»**

**ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОЧВ**

**О.Г. Чертов**

**Москва  
2019**

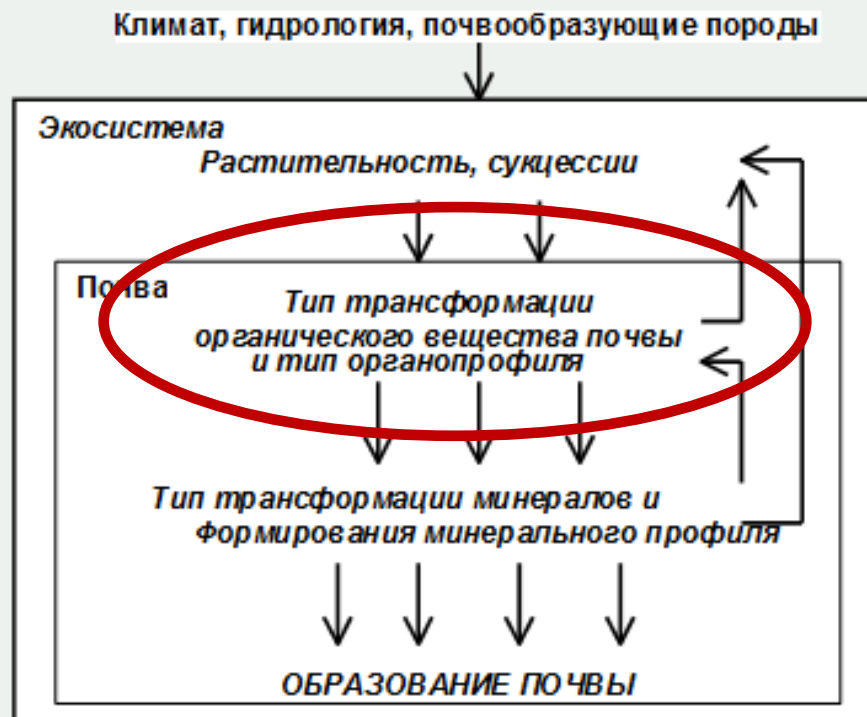
**Развитие функционального почвоведения требует создания динамических моделей почвенных процессов и в целом всей почвенной системы – как для корректного обобщения научных данных, так и особенно для их практического использования**

**Моделирование органического вещества почв (ОрВП) –это часть общей проблемы создания модели всей почвенной системы**

## НЕМНОГО ТЕОРИИ

Концептуальная модель формирования почвы под влиянием факторов почвообразования по В.В. Пономаревой (1964) может служить теоретической основой для моделирования почвенной системы.

Нами добавлены эффективные обратные связи в системе «почва-растение». Количество стрелок соответствует степени влияния факторов или процессов



И. Б. АРЧЕГОВА последовательно развивает эти представления

В свое время было высказано пессимистичное мнение (Yaalon, 1977), что уравнение Докучаева-Йенни никогда не будет решено

$$Soil = f(C, R, G, E, A) t$$

Однако, если перейти с классификационного на процессный уровень, то это концептуальное уравнение разлагается на органическую и минеральную составляющие, для которых имеются экспериментальные данные:

$$dH/dt = L - (k_1 + k_2 + \dots + k_n)H$$

$$dM/dt = M - (k_4 + k_5 + \dots + k_m)M$$

$$k_i = f(C, R, P, W, B, A) t$$

$H$  – ОрВП;  $M$  – минеральная матрица;  $k_i$  – скорость процессов трансформации

К сожалению, моделирование генезиса почв, а именно процессов формирования почвенного профиля, до последнего времени не получило достаточного развития. Были публикации А.И. Морозова (1988) и Л.О. Карпачевского и др. (2009) по “модели идеального подзола”, а также ряд теоретических работ А.В. Смагина.

Интенсивно развиваются модели физических процессов: водный и термический режимы, что было убедительно продемонстрировано на 2-ой конференции по моделированию почв в 2018 в Голландии

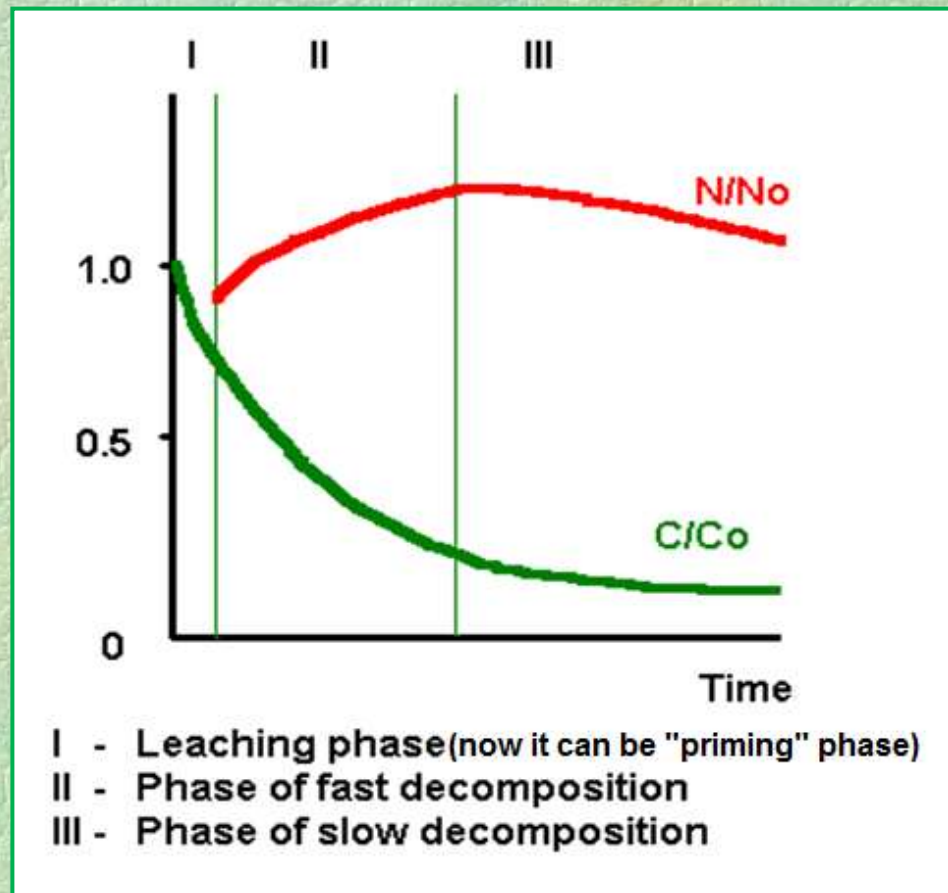
**Органическое вещество почвы (ОрВП) является основным твердофазным продуктом почвообразования, отделяющим почву от геологического образования и других природных тел**

**Оно создается и аккумулируется в процессе почвообразования, и в значительной степени определяет продуктивность растительности, динамику наземных экосистем и, более того, глобальный цикл углерода в биосфере и даже процессы в земной коре**

**Поэтому моделирование динамики ОрВП является приоритетной задачей при создании целостных моделей почвенной системы**

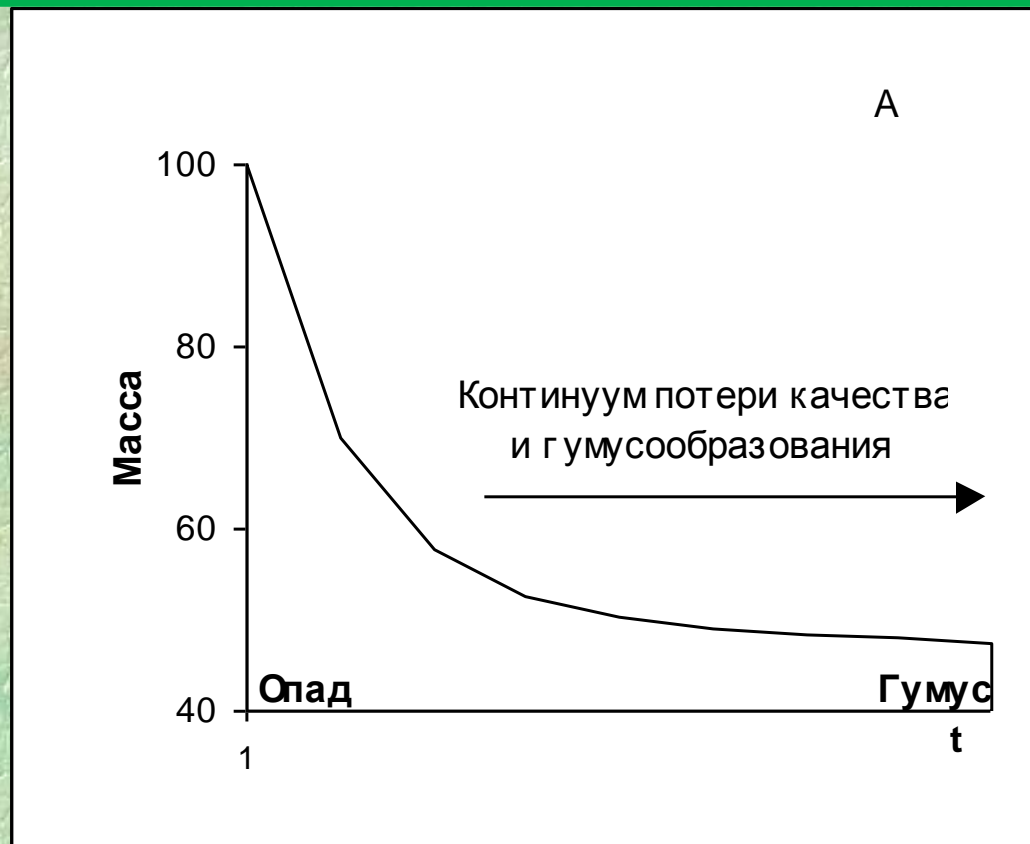
## ЕЩЕ НЕМНОГО ТЕОРИИ

Теоретическая кривая минерализации опада и ОрВП  
по Ågren & Bosatta (1996: p.21) с поправками

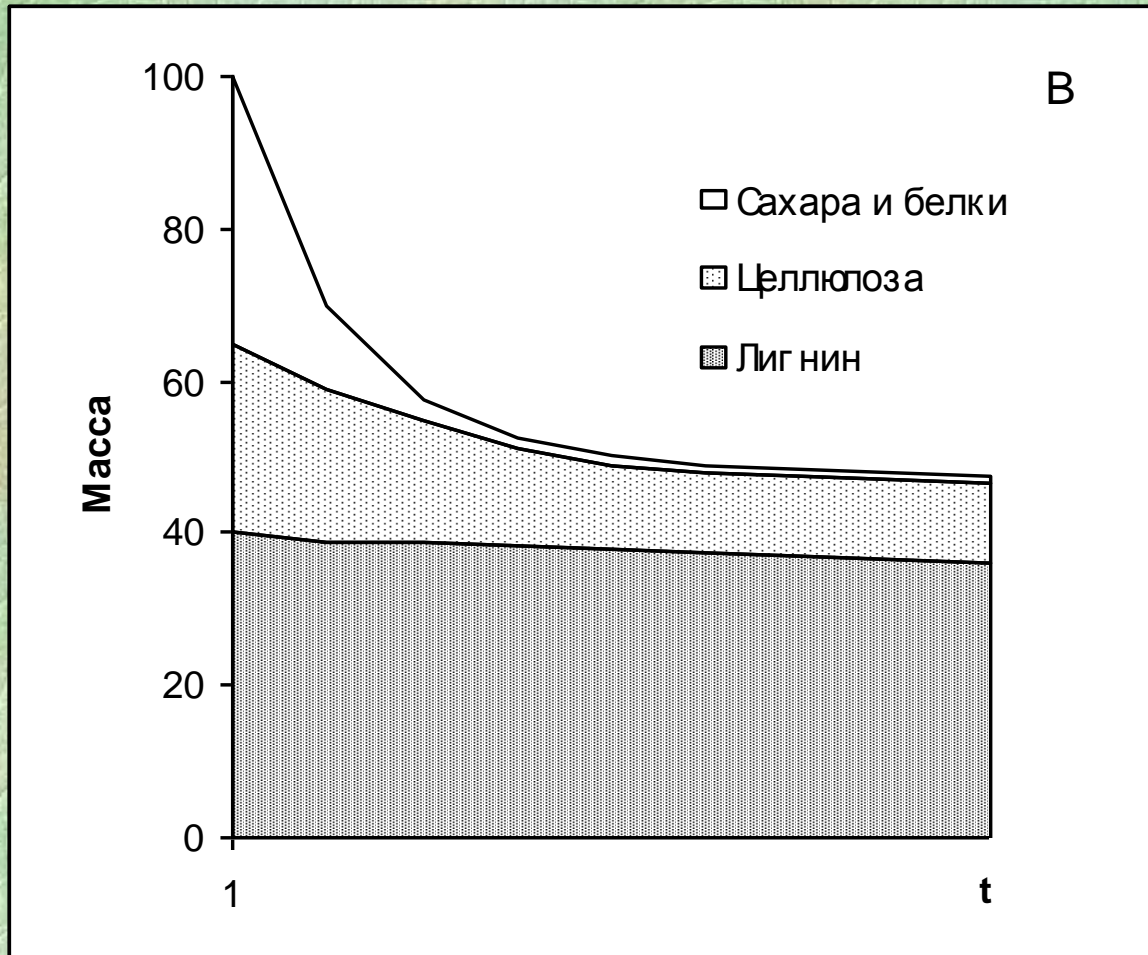


# Существующие концепции количественных аспектов трансформации опада и органического вещества почв

## 1. Концепция континуума потери качества Ågren & Bosatta 1996

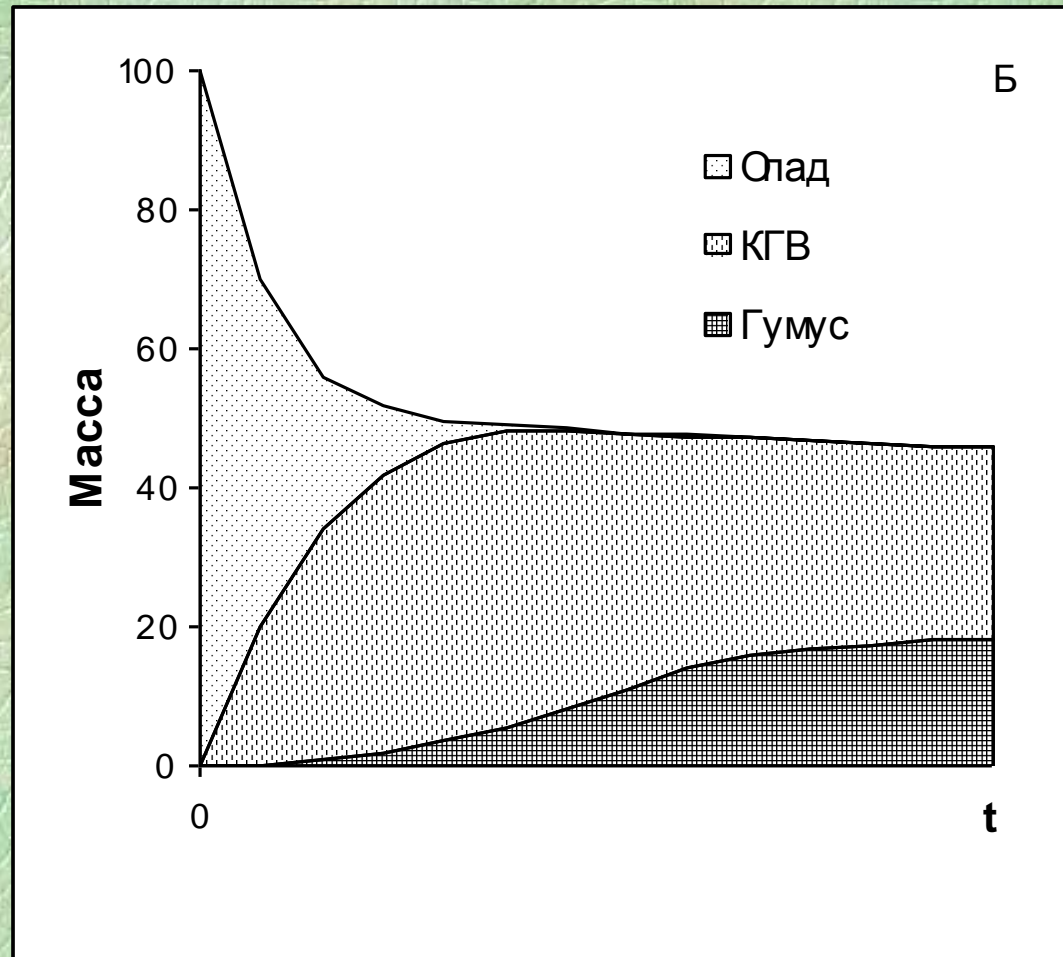


## 2. Биохимическая концепция (большинство моделей)





### 3. Сукцессионная концепция гумификации (Чертов с сотр. 1985-2001)

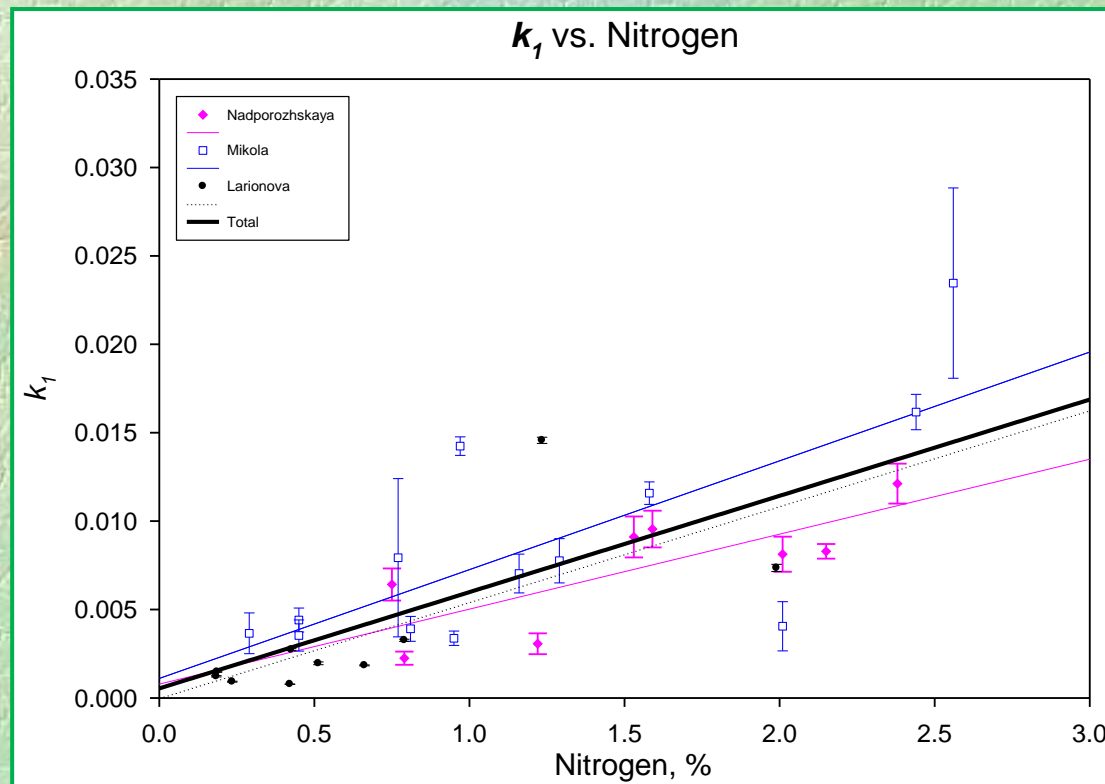


**Динамическое моделирование ОрВП сводится к решению следующей задачи:**

**зная начальные значения запасов (пулов) органического вещества в различных горизонтах почв, следует вычислить их изменение во времени, под влиянием количества и качества поступающих растительных остатков, условий их трансформации (температура и водный режим почвы, физико-химические параметры почв и состав биоты) и ряда модифицирующих факторов, прежде всего – антропогенных**

# Экспериментальная основа моделирования: данные лабораторных и полевых экспериментов по разложению органического вещества.

Зависимость скорости минерализации свежего опада от  
концентрации азота при 20°C и оптимальной влажности,  $\text{день}^{-1}$



# Начальный этап моделирования ОрВП

П.А. Костычев. Почвы  
черноземной области России.  
Часть 1. Образование  
чернозема. СПб. Изд. А. Ф.  
Девриен. 1886. 230 с.

Цит. : Избранные труды  
СССР., М. Т.1. 195

Очевидно, что запас органических веществ на данной площади возрастает, но вследствие этого возрастает и количество ежегодно разлагающихся органических веществ. Прирост прекратится тогда, когда количество разлагающихся веществ сравнится с годовым приростом  $A$ , т. е. когда:

$$0.5 A + (0.5)^2 A + \dots + (0.5)^{n-1} A = A.$$

Определяя отсюда  $n$ , получим для него величину бесконечно большую: но если определим величину суммы первой части сумму эта очень мало будет равна:

**ХОРОШАЯ НОВОСТЬ:**  
Павел Андреевич Костычев  
133 года назад был в мире  
ПЕРВЫМ «МОДЕЛЬЕРОМ»!!!

А.А.Роде, 1937. Подзолообразовательный процесс  
Уравнение И.В.Тюрина (1937. Органическое вещество почв)  
Формула Йенни (Jenny et al., 1949)

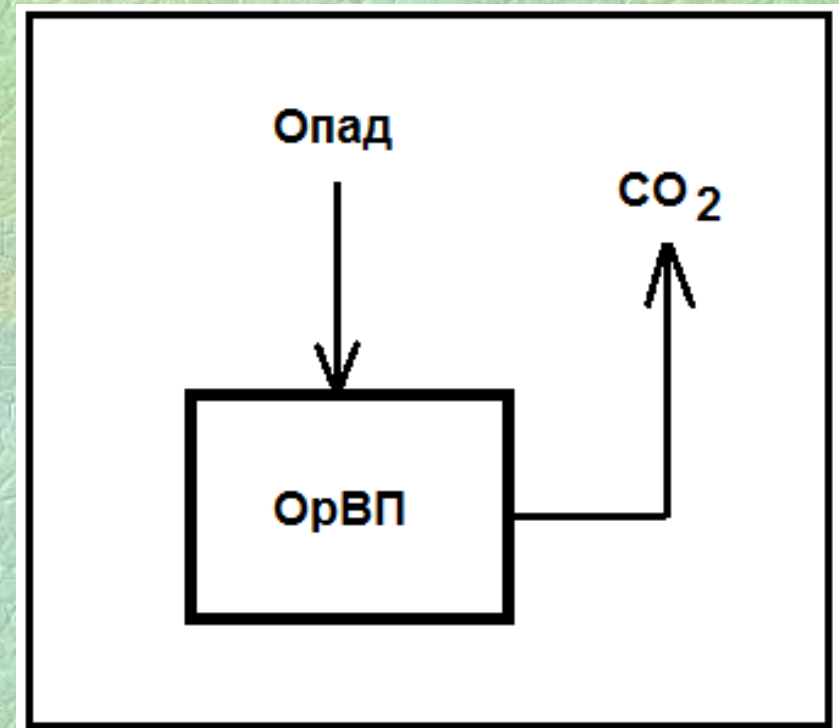
Все эти уравнения только о формировании ОрВП

**Негативная экспоненциальная  
функция разложения опада  
Олсона (Olson, 1963)**

$$dC/dt = -kC$$

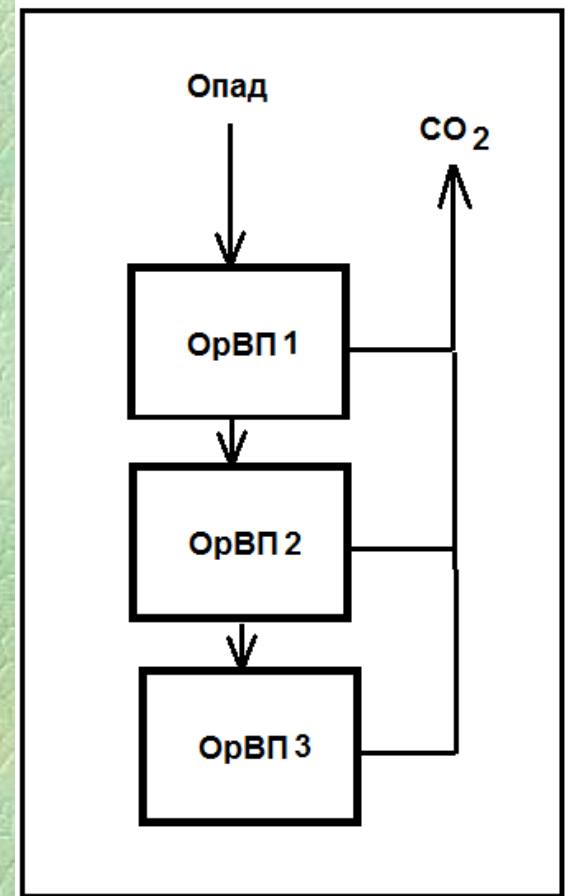
**присутствует во всех  
последующих моделях  
динамики ОрВП**

**С этого момента произошло  
переключение основного  
внимания при моделировании  
с формирования ОрВП к  
процессам его разложения**



**Отдельное место занимает однокомпонентная модель Q (Ågren, Bosatta, 1978) с меняющейся скоростью минерализации ОрВП в зависимости от континуума качества (quality, Q) органического вещества.**

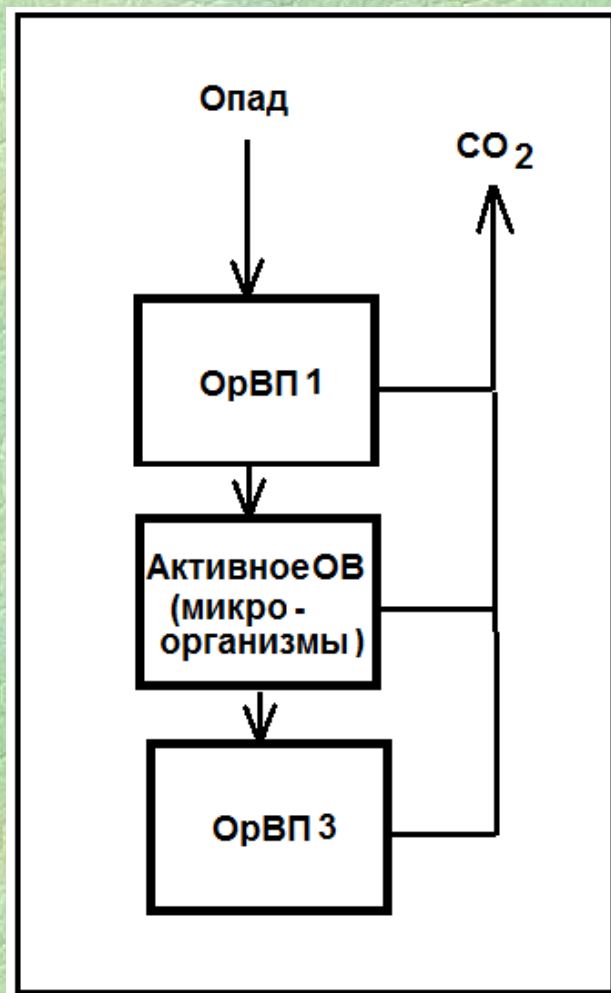
В дальнейшем структура моделей усложнилась до рассмотрения динамики отдельных блоков ОрВП либо по биохимическим параметрам, либо с привязкой к почвенным горизонтам, но без отражения роли почвенной биоты. Трансформация ОрВП по нисходящей присутствует, но ее механизмы не обсуждались



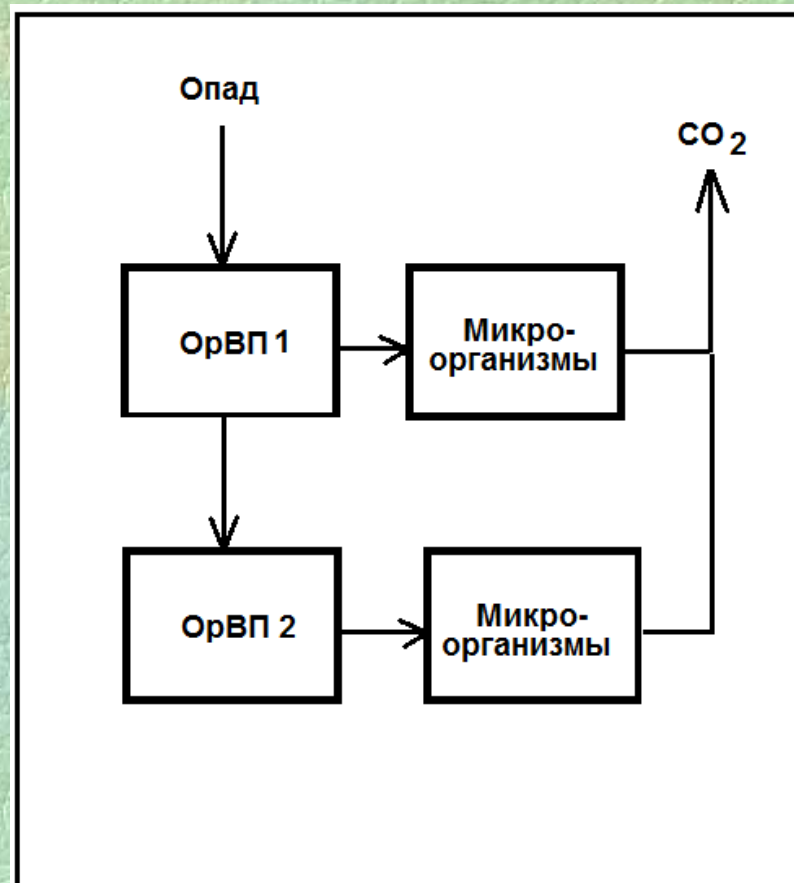
Наибольшее распространение к концу XX века получили модели динамики ОрВП с включением блока «активного ОВ» микроорганизмов, ответственного за минерализацию органического вещества.

Этот подход начался с прекрасной модели Ханта (1977), после которой появились широко известные модели

Century, RothC, Daisy, Candy etc. Механизмы трансформации ОрВП в них также не акцентировались



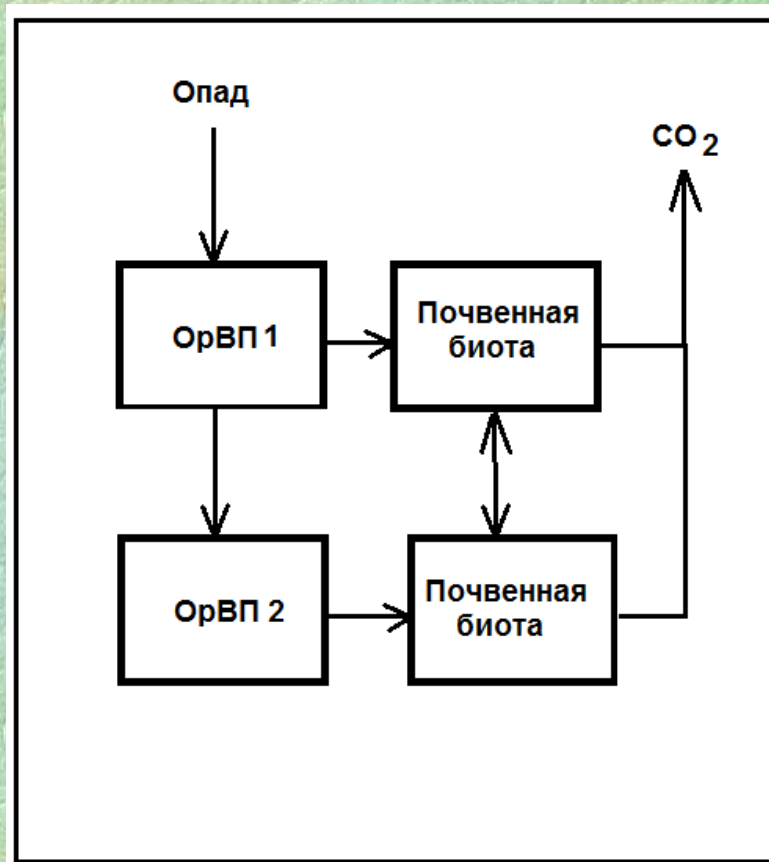
**К настоящему времени появились модели, где минерализация вычисляется не как функция от ОрВП, как практически во всех моделях, а как функция выедания ОрВП микроорганизмами, соотнесенная с их биомассой, а не с ОрВП**





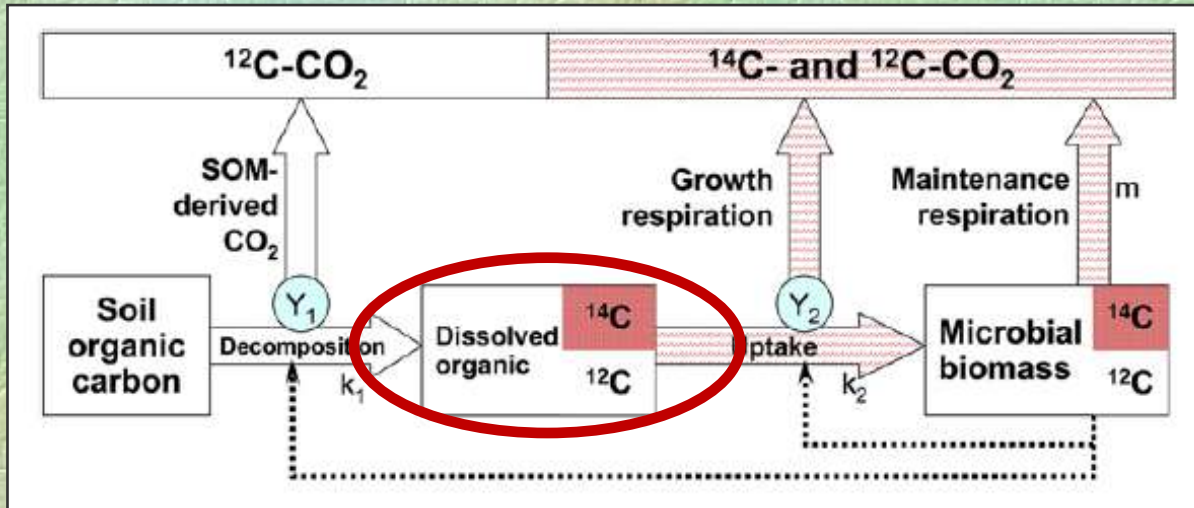
**Пик создания динамических моделей ОрВП пришелся на конец XX века.**

**В последнее время появились модели с наиболее сложной структурой взаимодействий ОрВП со всей почвенной биотой и механизмами гумусообразования (закрепления ОрВП)**



# Пример 1

Blagodatsky et al. 2010 . Soil Biol. Biochem. 42, 1275-1283



$$\frac{d\text{SOC}}{dt} = -k_1 \cdot \text{MB}$$

$$\frac{d\text{SOC}}{dt} = -k_1 \cdot \text{SOC}$$

$$\frac{d\text{DOC}}{dt} = Y_1 \cdot k_1 \cdot \text{MB} - k_2 \cdot \text{DOC} \cdot \text{ACT} \cdot \text{MB}$$

$$\frac{d\text{MB}}{dt} = Y_2 \cdot k_2 \cdot \text{DOC} \cdot \text{ACT} \cdot \text{MB} - m \cdot \text{ACT} \cdot \text{MB}$$

Эта теоретическая модель открывает новый подход к более детальному рассмотрению роли микроорганизмов в процессах разложения ОрВП с привлечением методов описания динамики популяций микроорганизмов

Модель верифицирована только по данным лабораторных экспериментов

# Пример 2

Komarov et al. 2017. Ecol. Model. 345, 113–124

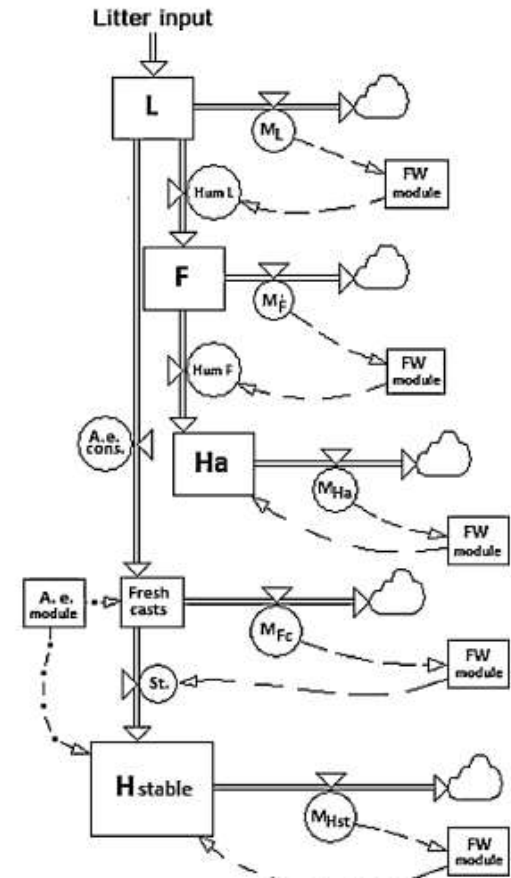
## Romul\_Hum

Эта модель с давней историей (модель подстилки 1986; SOMM 1996; ROMUL 2001; Romul\_Hum 2017).

Фактически - она традиционная блоковая. Но коэффициенты минерализации опада являются биота-специфичными, т.е. разными для разных сообществ организмов-разлагателей в зависимости от качества опада.

Особое внимание уделено гумификации (трансформации ОрВП) с прямым вычислением продукции гумифицированного материала сообществами почвенной фауны пищевых сетей.

Линейка этих моделей верифицирована и валидирована на обширном материале. Она широко использовалась как самостоятельно, так и в качестве компонента модели лесных экосистем EFIMOD



# Заключение

**Сто лет назад выдающийся русский лесовод немец А.А. Крюденер (1916) писал о времени, когда ученые смогут «с математической точностью определять производительные силы почво-грунта». Это время наступило.**

**Моделирование развивается достаточно интенсивно и уже появились элементы технологии и стандартизации для создания динамических моделей природных систем и их компонентов.**

**Созданные модели уже используются для исследования изменения лесных почв и экосистем при различных режимах «лесоуправления» и изменении природной среды.**

**Особая роль моделированию придается при создании систем устойчивого лесоводства и реализации концепции биоэкономики XXI века**