

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ

Быховец С.С.<sup>1</sup>, Ларионова А.А.<sup>1</sup>, Евдокимов И.В.<sup>1</sup>, Квиткина А.К.<sup>1</sup>, Фролов П.В.<sup>1</sup>,  
Чертов О.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино,  
Россия

[s\\_bykhovets@rambler.ru](mailto:s_bykhovets@rambler.ru)

<sup>2</sup>Бингенский технический университет, Бинген на Рейне, Германия  
[oleg\\_chertov@hotmail.com](mailto:oleg_chertov@hotmail.com)

**Аннотация:** Решается задача уточнения учета влияния гидротермических условий на скорости минерализации и трансформации органического вещества на основе лабораторных экспериментов по разложению растительных опадов и органического вещества минеральных горизонтов почвы.

При разработке модели динамики органического вещества (OpB) почвы ROMUL (Chertov et al., 2001), зависимости скоростей минерализации и гумификации от температуры и влажности почвы первоначально были оценены на основе ограниченного объема литературных данных. Впоследствии они частично уточнялись с привлечением новых данных (Моделирование..., 2007), но задача дальнейшего уточнения остается актуальной, в частности и для новой версии модели Romul\_Hum (Komarov et al., 2017), существенно детализирующей описание роли почвенной биоты в процессах гумификации, но в части указанных коэффициентов пока использующей старые параметризации. Для одной из предыдущих версий модели ROMUL финскими коллегами был предложен альтернативный вариант функций, описывающих их зависимость от влажности (Linkosalo et al., 2013), но в этом случае указанные функции были получены на основе полевых данных по эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы, и предполагались одинаковыми для всех коэффициентов модели.

В настоящей работе для оценки указанных зависимостей использованы результаты лабораторных экспериментов А.А. Ларионовой (Larionova et al., 2007; Ларионова и др., 2013, 2017, и др.) по разложению как свежих растительных опадов, так и OpB минеральных горизонтов почв. Первый опыт интерпретации отдельных экспериментов с OpB минеральных горизонтов для оценки указанных зависимостей коэффициентов модели ROMUL описан ранее (Быховец и др., 2009), но с тех пор получено значительное количество новых экспериментальных данных.

Образцы инкубировались при различных значениях температуры (2, 12 и 22 °С) и влажности субстрата (4–5 значений в интервале от 20–30 до 150–200% ППВ), как правило, в 3-х кратной повторности, в течение одного года. Минерализация органического вещества оценивалась по эмиссии CO<sub>2</sub>, определяемой хроматографическим методом.

Полученные кумулятивные кривые эмиссии аппроксимировались функцией вида:

$$C_{Em} = 1 - a \cdot e^{-bt} - (1-a) \cdot e^{-d \cdot t} \quad (1)$$

где  $C_{Em}$  – относительная величина эмиссии (доля минерализовавшегося углерода),  $a$ ,  $b$  и  $d$  – коэффициенты,  $t$  – время инкубации (сут.). В случае свежего опада уравнение 1 может быть представлено (Моделирование..., 2007) в виде:

$$C_{Em} = 1 - \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_3 - k_2} \cdot e^{-(k_1 + k_3)t} - \frac{k_3}{k_1 + k_3 - k_2} \cdot e^{-k_2 \cdot t}$$

где  $k_1$  – скорость минерализации свежего опада,  $k_3$  – скорость первичной гумификации (перехода в пул частично гумифицированного OpB),  $k_2$  – скорость минерализации частично гумифицированного OpB (все – в сут.<sup>-1</sup>). В случае же органического вещества минеральных горизонтов показатель второй («медленной») экспоненты ( $d$ ) в уравнении 1 может интерпретироваться как скорость минерализации стабильного гумуса (в терминах модели ROMUL).

Зависимость коэффициентов минерализации от температуры в рассматриваемом диапазоне ее значений, в целом, удовлетворительно описывается «традиционной» показательной функцией, причем для свежего опада – зависимость близка к используемой ранее, для гумифицированного ОрВ – зависимость выражена несколько слабее.

На новом экспериментальном материале подтверждено предположение О.Г. Чертова (1985) о слабой зависимости скорости гумификации  $k_3$  от температуры при низких ее значениях, и слабом понижении с повышением температуры (только максимальное значение отмечено при 12°C, а не в интервале 0–7°C, как предполагалось ранее; впрочем о точном положении максимума говорить преждевременно, т.к. температура рассматривалась с шагом 10°C, а зависимость, как уже отмечалось, слабо выражена).

Зависимость от влажности характеризуется ростом от низких ее значений к области оптимальных значений в диапазоне 70-100% ППВ. Переход от роста к «плато оптимума» более сглаженный и постепенный, чем это предусмотрено как ныне используемыми функциями (Моделирование..., 2007), так и функциями, предложенными Т. Линкосало с соавторами (Linkosalo et al., 2013). При дальнейшем повышении влажности снижение скоростей минерализации не столь заметно, как это предусмотрено функциями, используемыми в модели, и тем более не отмечается ее снижения до 0 при насыщении до полной влагоемкости, предлагаемого в ряде работ (Смагин и др., 2001; Linkosalo et al., 2013). Впрочем, это может объясняться особенностями эксперимента (из-за малого объема образцов, в сочетании с их периодическим проветриванием, даже при полном насыщении водой в них не возникают анаэробные условия, являющиеся в этом случае главной причиной замедления минерализации). Поэтому, вопрос об уточнении коэффициентов модели в условиях переувлажнения требует дальнейшего изучения.

Полученные результаты позволили верифицировать и в отдельных случаях уточнить зависимости коэффициентов модели ROMUL от температуры и влажности почвы.

## Литература

- Быховец С.С., Ларионова А.А., Мильхеев Е.Ю. Параметризация зависимости интенсивности минерализации органического вещества почв от гидротермических условий // Математическое моделирование в экологии: Материалы Национальной конференции с международным участием. Пущино: ИФХиБПП РАН, 2009. С. 47–48.
- Ларионова А.А., Квиткина А.К., Евдокимов И.В., Быховец С.С., Стулин А.Ф. Влияние температуры на интенсивность разложения лабильного и устойчивого органического вещества агрочернозема // Почвоведение. 2013. № 7. С. 803–812.
- Ларионова А.А., Мальцева А.Н., Лопес де Гереню В.О., Квиткина А.К., Быховец С.С., Золотарева Б.Н., Кудеяров В.Н. Влияние температуры и влажности на минерализацию и гумификацию листовного опада в модельном инкубационном эксперименте // Почвоведение. 2017. № 4, с. 438–448.
- Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / Отв. ред. В.Н. Кудеяров. М.: Наука, 2007. 380 с.
- Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Смагина М.В., Глаголев М.В., Шевченко Е.М., Хайдапова Д.Д., Губер А.К. Моделирование динамики органического вещества почв. М.: Изд. МГУ. 2001. 120 с.
- Чертов О.Г. Имитационная модель минерализации и гумификации лесного опада и подстилки // Журнал общей биологии. 1985. Т. 46. № 6. С. 794–804.
- Chertov O.G. Komarov A.S., Nadporozhskaya M.A., Bykhovets S.S., Zudin S.L. ROMUL – a model of forest soil organic matter dynamics as a substantial tool for forest ecosystem modelling // Ecological Modelling. 2001. V. 138. № 1–3. P. 289–308.
- Komarov A., Chertov O., Bykhovets S., Shaw C., Nadporozhskaya M., Frolov P., Shashkov M., Shanin V., Grabarnik P., Pripulina I., Zubkova E. Romul\_Hum model of soil organic matter formation coupled with soil biota activity. I. Problem formulation, model description, and testing // Ecological Modelling. 2017. V. 345. P. 113–124.
- Larionova A.A., Yevdokimov I.V., Bykhovets S.S. Temperature response of soil respiration is dependent on readily decomposable C // Biogeosciences. 2007. V. 4. № 6. P. 1073–1081.
- Linkosalo T., Kolari P., Pumpanen J. New decomposition rate functions based on volumetric soil water content for the ROMUL soil organic matter dynamics model // Ecological Modelling. 2013. V. 263. P. 109–118.