

ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ

Т. И. Сулейманов, Т. М. Тахмазов

Национальное Аэрокосмическое Агентство
Азербайджанская Республика, AZ 1115, г. Баку, ул. С. Ахундова, 1
E-mail: asadzade@rambler.ru

Рассмотрен вопрос о возможном влиянии добавления к подстилке дополнительного объёма азота на скорость разложения лесной опада. Предложена интегральная модель в виде целевого функционала вариационной оптимизации, которая оптимизирована и было показано, среднеинтегральная величина лигнина, имея положительную связь с указанным объёмом азота, может привести к уменьшению скорости декомпозиции подстилки до минимума. Переход через точки минимума при этом указывает дополнительные возможности построенной модели для охвата также результатов противоположного характера, когда наблюдается рост скорости декомпозиции.

Ключевые слова: лесная подстилка, оптимизация, декомпозиция, скорость разложения, лесная экосистема.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 3, P. 23–26

AN ECOSYSTEM APPROACH TO ASSESSING THE TEMPORAL DYNAMICS OF FOREST LITTER DECOMPOSITION

T. I. Suleymanov, T. M. Tahmazov

National Aerospace Agency
1, S. Akhundova str., Baku, AZ 1115, Republic of Azerbaijan
E-mail: thmzovtbziz66@gmail.com

The question of the possible effect of adding an additional amount of nitrogen to the litter on the decomposition rate of forest litter is considered. An integral model is proposed in the form of a target functional of variational optimization, which is optimized and it has been shown that the average integral value of lignin, having a positive correlation with the specified volume of nitrogen, can lead to a decrease in the decomposition rate of the litter to a minimum. The transition through the minimum points at the same time indicates additional possibilities of the constructed model to cover also the results of the opposite nature, when there is an increase in the decomposition rate.

Keywords: forest litter, optimization, decomposition, decomposition rate, forest ecosystem.

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг изменения состояния различных экосистем основывается на проведении измерений параметров, характеризующих изменения, происходящих в этих экосистемах. С точки зрения изменений, происходящих в лесной экосистеме, по причине воздействия различных загрязнителей, такими параметрами являются сохранность зеленого покрова в хвойных лесах, листопад в кроне деревьев, скорость процесса декомпозиции подстилки. Выбор указанных показателей обоснован тем, что они удовлетворяют требования следующих требований [1]:

- 1) адекватно отражают процессы, происходящие в экосистеме;
- 2) они способны реагировать на воздействие различных загрязнителей;
- 3) указанные показатели измеримы во времени;
- 4) они отражают некоторые природные изменения;

5) точность измерения этих параметров позволяют обнаружить аномалии в отклонении от их нормальных значений.

Следует отметить, что скорость декомпозиции лесной подстилки играет важную роль в циклических процессах, связанных с питательными веществами в лесных экосистемах.

Как отмечается в работах [2–4], циклические процессы, связанные с оборотом питательных веществ в лесной экосистеме играют важную роль в возвращении углерода (C) и других питательных веществ растительности в почву. Известны множество работ по моделированию скорости декомпозиции подстилки в лесах в условиях происходящих глобальных климатических изменений [5–7]. В указанных работах широко обсуждаются вопросы зависимости скорости разложения подстилки от таких показателей, как содержание азота и лигнина в подстилке. При этом базовым положением можно считать выводы

по данному вопросу, которые были изложены в работе [1].

Исследования, проведенные в [1], показали, что регрессионное соотношение между годичной скоростью разложения подстилки для шести различных видов деревьев имеет вид

$$k = 1,453 \cdot \left(\frac{\text{лигнин}}{\text{азот}} \right)^{-0,564} \quad (1)$$

Соответствующая кривая (1) показана на рис. 1.

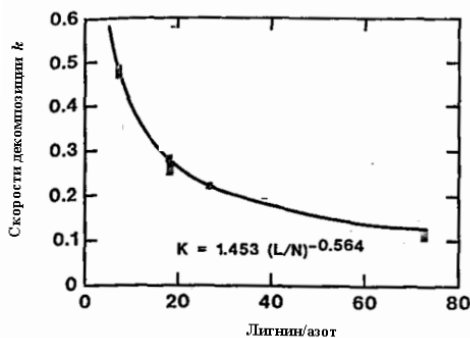


Рис. 1. Кривые изменения скорости декомпозиции k в зависимости от отношения $\left(\frac{\text{лигнин}}{\text{азот}} \right)$ для различных типов деревьев

Следует отметить, что скорость декомпозиции также сильно зависит от климатических условий, существующих на исследуемых лесных массивах, что очевидно и вполне объяснимо. Вместе с тем, скорость декомпозиции подстилки как показатель лесной экосистемы характеризуется неоднозначностью, в плане реакции этого показателя на некоторые внешние загрязнители. Например, такая неоднозначность появляется при рассмотрении результатов исследования влияния дополнительно вводимого азота на скорость декомпозиции подстилки. Так, например, в работах [8; 9] утверждается, что дополнительно вводимый реактивный азот увеличивает скорость декомпозиции подстилки. Вместе с тем, в работах [10; 11] утверждается обратное, такие противоположные результаты, согласно [12], возможно были получены по причине того, что во время проводимых экспериментальных исследований вводились разное количество азота, состав подстилки был не идентичен, либо почва по составу была разнородной.

Вместе с тем, анализ результатов последних работ, посвященных данному вопросу, позволяют прийти к заключению о том, что немаловажным фактором здесь является зависимость содержания лигнина от количества вводимого азота [12; 13]. Так, например, в работе [12], где динамика декомпозиции подстилки оценивалась на базе экспоненциальной модели

$$M_t = M_0 \exp(-kt), \quad (2)$$

где M_0 – сухая масса исходной подстилки; M_t – сухая масса подстилки, оставшейся к моменту t ; k – скорость декомпозиции, дополнительно вводимого азота содержание лигнина растёт (рис. 2).

Вместе с тем, согласно результатам работы [13], с увеличением объёма дополнительно вводимого в подстилку азота содержание лигнина уменьшается (рис. 3).

На рис. 3. приведены графики для следующих типов деревьев.

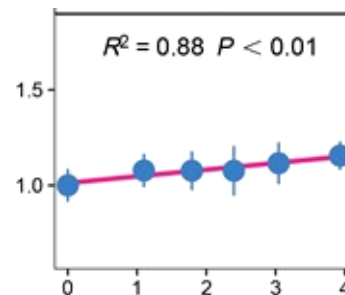


Рис. 2. График зависимости изменения содержания лигнина в подстилке в зависимости от количества вводимого азота где по оси абсцисс указан $\ln(N)$, где N измеряется в $(\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{год})$

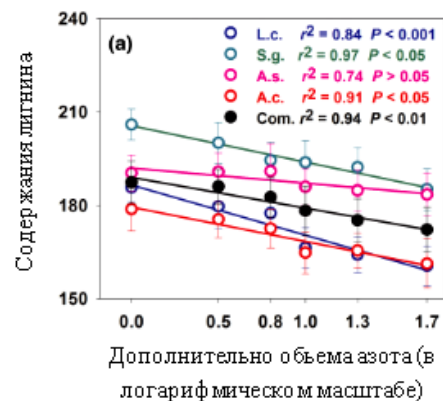


Рис. 3. Зависимость содержания лигнина в подстилке от объёма дополнительно вводимого азота (в логарифмическом масштабе)

Таким образом, актуализируется задача создания общей модели воздействия дополнительно вводимого азота на скорость декомпозиции подстилки, которая обобщила бы все результаты, полученные в данной области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С учетом вышеизложенного, можно предложить следующую бинарную модель изменения содержания лигнина (L) от дополнительно вводимого азота (N_g).

$$L_1 = L_{01} + \gamma_1 N_g, \quad \gamma_1 = \text{const}, \quad (3)$$

$$L_2 = L_{02} - \gamma_2 N_g, \quad \gamma_2 = \text{const}. \quad (4)$$

Модель (3) обобщим в виде

$$L_1 = f_1(N_g). \quad (5)$$

Соответственно (5) модель (4) обобщим в виде

$$L_2 = f_2(N_g). \quad (6)$$

К функциям (5) и (6) наложим следующие ограничительные условия:

$$\int_0^{N_{g.\max}} f_1(N_g) dN_g = C_1, \quad (7)$$

$$\int_0^{N_{g.\max}} f_2(N_g) dN_g = C_2. \quad (8)$$

Формулу (1) обобщим в виде

$$k = a_1 \left[\frac{f_{1,2}(N_g)}{N + N_g} \right]^{-b_1}, \quad (9)$$

где $a_1 = 1,453$; $b_1 = 0,564$.

На базе (9) формируем следующий целевой функционал:

$$F_1 = \int_0^{N_{g.\max}} a_1 \left[\frac{f_{1,2}(N_g)}{N + N_g} \right]^{-b_1} dN_g. \quad (10)$$

С учетом (7) и (10) составим первую задачу безусловной вариационной оптимизации, целевой функционал которой имеет вид

$$F_{11} = \int_0^{N_{g.\max}} a_1 \left[\frac{f_{1,2}(N_g)}{N + N_g} \right]^{-b_1} dN_g + \lambda_1 \int_0^{N_{g.\max}} f_1(N_g) dN_g - C_1, \quad (11)$$

где λ_1 – множитель Лагранжа.

С учетом (7) и (10) составим вторую задачу безусловной вариационной оптимизации, целевой функционал $N_{g.\max}$ которой имеет вид

$$F_{12} = \int_0^{N_{g.\max}} a_1 \left[\frac{f_{1,2}(N_g)}{N + N_g} \right]^{-b_1} dN_g + \lambda_2 \int_0^{N_{g.\max}} f_2(N_g) dN_g - C_2, \quad (12)$$

Так как функционалы (11) и (12) подобны по форме, дадим полное решение одного из них, конкретно (11). Согласно [13], решение (11) должно удовлетворить условию

$$\frac{d \left\{ a_1 \left[\frac{f_{1,2}(N_g)}{N + N_g} \right]^{-b_1} + \lambda_1 f_1(N_g) \right\}}{df_1(N_g)} = 0. \quad (13)$$

Из (13) получим

$$L(N_g) = \sqrt[b+1]{\frac{a_1 b_1 (N + N_g)^b}{\lambda}}. \quad (14)$$

С учетом (7) и (14) имеем

$$\int_0^{N_{g.\max}} \sqrt[b+1]{\frac{a_1 b_1 (N + N_g)^b}{\lambda}} dN_g = C_1. \quad (15)$$

Из (15) находим

$$\lambda = \left[C_1 \int_0^{N_{g.\max}} \sqrt[b+1]{a_1 b_1 (N + N_g)^b} dN_g \right]^{-(b+1)}. \quad (16)$$

С учетом (14) и (16) получим

$$\begin{aligned} (N_g) &= \sqrt[b+1]{\frac{a_1 b_1 (N + N_g)^b}{C_1 \int_0^{N_{g.\max}} \sqrt[b+1]{a_1 b_1 (N + N_g)^b} dN_g}} = \\ &= \frac{\sqrt[b+1]{a_1 b_1 (N + N_g)^b}}{C_1 \int_0^{N_{g.\max}} \sqrt[b+1]{a_1 b_1 (N + N_g)^b} dN_g} = \\ &= \frac{\sqrt[b+1]{(N + N_g)^b}}{C_1 \int_0^{N_{g.\max}} \sqrt[b+1]{(N + N_g)^b} dN_g}. \end{aligned} \quad (17)$$

Следовательно, в этой модели с ростом N_g растет и $L(N_g)$, однако, это приводит к уменьшению среднее интегральной величине k (т. е. к минимуму функционала F_{11}), так как вторая производная интегранта в (11) оказывается всегда положительной величиной.

Таким образом, согласно построенной общей модели рост N_g всегда должен приводить к увеличению L (лигнина) (модель 3), что в конечном счете обуславливает минимум функционала (11), что соответствует уменьшению k с ростом N . Это соответствует результату, полученным в [12], где было зафиксировано уменьшение k с ростом N_g (рис. 4).

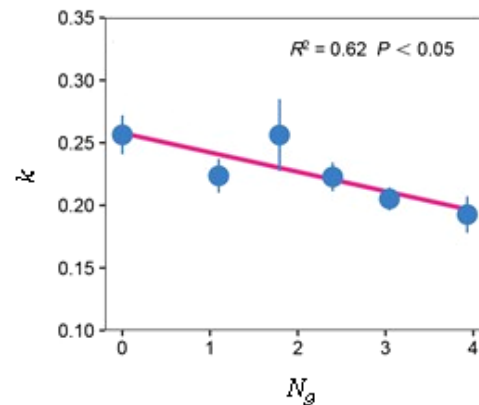


Рис. 4. Уменьшение скорости декомпозиции подстилки при увеличении N_g по результатам, полученным в [12]

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, согласно результату оптимизации построенной интегральной модели увеличение количества азота в подстилке путем добавления N_g всегда

должно привести к увеличению содержания лигнина, что в свою очередь вызывает уменьшение скорости декомпозиции подстилки. Указанный результат хорошо совпадает с результатами работы [12], однако противоречит результатом, полученным в [13], хотя при построении модели был учтен результат этой работы, заключающийся в уменьшении лигнина при увеличении N_g .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировано состояние вопроса о том, каким образом на скорость разложения лесной подстилки влияет добавление к ней дополнительного объёма азота. Имеющиеся результаты различных исследователей дают противоречивые экспериментальные данные. Построенная интегральная модель в виде целевого функционала безусловной вариационной оптимизации, был оптимизирован и в результате было показано что независимо от исходного предположения о негативной связи между количеством лигнина и количеством дополнительного объёма азота, среднеинтегральная величина лигнина имея положительную связь с указанным объёмом азота может привести к уменьшению скорости декомпозиции подстилки до минимума. Переход через точки минимума при этом указывает дополнительные возможности построенной модели для охвата также результатов противоположного характера, когда наблюдается рост скорости декомпозиции.

REFERENCES

1. White G. J., Baker G. A., Harmon M. E., Wiersma G. B., Bruns D. A. Use of forest ecosystem process measurements in an integrated environmental monitoring program in the wind river range, Wyoming.
2. Jackson R. B., Lajtha K., Crow S. E., et al. The ecology of soil carbon: pools, vulnerabilities and biotic and abiotic controls. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 2017. Pp. 419–445.
3. Wang Q., Yang W., Li H. et al. Changes in carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in decaying logs with gap positions in a subalpine forest // *J Plant Ecol.* 2021. Pp. 692–701.
4. Wang S., Yuan X., Zhang L. Litter age interacted with N and P addition to impact soil NO_2 emissions in *cunninghamia lanceolata* plantations // *J Plant Ecol.* 15. 771–782.
5. Gill A. L., Adler P. B., Borer E. T. Nitrogen increases early-stage and slows late-stage decomposition across diverse grasslands// *J Ecol.* 2022. 110. Pp. 1376–1389.
6. Li B., Lv W., Sun J. et al. Warming and grazing enhance litter decomposition and nutrient release independent of litter quality in an alpine meadow // *J Plant Ecol.* 2022. Pp. 977–990.
7. Sterkenburg E., Clemmensen K. E., Ekblad A. et al. Contrasting effects of ectomycorrhizal fungi on early and late stage decomposition in a boreal forest. *ISME J* 12: 2187–2197.
8. Hou S. L., Hattenschwiler S., Yang J. J. et al. Increasing rates of long-term nitrogen deposition consistently increased litter decomposition in a semi-arid grassland // *New Phytol* 229. 2021. 296–307.
9. Pichon N. A., Cappelli S. L., Soliveres S. et al. Decomposition disentangled: a test of the multiple mechanisms by which nitrogen enrichment alters litter decomposition// *Funct Ecol* 34. Pp.485–496.
10. Frey S. D., Ollinger S., Nadelhoffer K. et al. Chronic nitrogen additions suppress decomposition and sequester soil carbon in temperate forests // *Biogeochemistry* 2014. 305–316.
11. Hobbie S. E., Eddy W. C., Buyarski C. R. et al. Response of decomposing litter and its microbial community to multiple forms of nitrogen enrichment// *Ecol monogr* 82. 2012. 389–405.
12. Zheing P., Zhao R., Jiang L., Yang G., Wang Y., Wang R., Han X., Ning Q. Increasing nitrogen addition rates suppressed long-term litter decomposition in a temperate meadow steppe // *J Plant Ecology.* <https://doi.org/10.1093/jpe/rtac078>.
13. Hou S. L., Hattenschwiler S., Yang J. J., Sistla S., Wei H. W., Zhang Z. W., Hu Y. Y., Wang R. Z., Cui S. Y., Lu X. T., Han X. G. Increasing rates of long-term nitrogen deposition consistently increased litter decomposition in a semi-arid grassland // *New phytologist.* 2021. Pp. 296–307.

© Сулейманов Т. И., Тахмазов Т. М., 2024