

УДК 630

О.И. Григорьева, доц., канд. с.-х. наук (СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург);

О.И. Гринько, асп. (БрГУ, г. Братск);

И.В. Григорьев, проф., д-р техн. наук (АГАТУ, г. Якутск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПОСЛЕ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Постепенно теплеющий климат все острее ставит проблемы лесных пожаров в Российской Федерации, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке [1]. Одной из основных проблем является обеспечение эффективного восстановления лесов, пройденных лесным пожаром, по аналогии с восстановлением после рубки леса [2, 3].

Современное лесное законодательство России во многом делает упор на искусственное лесовосстановление [4, 5]. Но в Сибири и на Дальнем Востоке в восстановлении после лесных пожаров нуждаются огромные, часто труднодоступные площади, которые, как и сотни лет назад, восстанавливаются естественным способом.

Анализ литературных источников показывает наличие пробела, заключающегося в отсутствии математической модели, позволяющей качественно прогнозировать результаты естественного восстановления многокомпонентной лесной среды, пройденной лесным пожаром.

Рассмотрим развитие многокомпонентной экосистемы, включающей в себя хвойные и лиственные деревья младшей, средней и старшей возрастной группы. В качестве основы математической модели примем положения [6], описывающие развитие древесных ценозов:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = \rho - \varphi - \gamma, \\ \frac{dv}{dt} = \varphi - \mu - \psi, \\ \frac{dw}{dt} = \mu - \kappa, \end{cases} \quad (1)$$

где ρ – функция роста, φ – функция перехода деревьев младшей возрастной группы в среднюю, γ – функция отпада деревьев младшей возрастной группы, μ – функция перехода деревьев средней возрастной группы в старшую, ψ – функция смертности средней возрастной группы, κ – функция смертности старшей возрастной группы, u , v , w – концентрации соответственно младшей, средней и старшей возрастной группы:

$$u = \frac{s_1}{s_0} x(t), v = \frac{s_2}{s_0} y(t), w = \frac{s_3}{s_0} z(t), \quad (2)$$

где $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ – количество деревьев соответственно младшей, средней и старшей возрастной группы, s_1 , s_2 , s_3 – проекции деревьев

соответственно младшей, средней и старшей возрастной группы, s_0 – площадь, занятая древесным ценозом.

Общий вид функций $\rho, \varphi, \gamma, \mu, \psi, \kappa$ зависит от принимаемых предпосылок к исследованию, вкладываемого биологического смысла, и до настоящего времени не установлен. Примем следующие допущения:

- Возникновение подроста связано, в основном, с наличием деревьев старшей возрастной группы и пропорционально их концентрации.
- Количество хвойных и лиственных деревьев, переходящих из младшей в среднюю возрастную группу, пропорционально концентрациям и обратно пропорционально классам возраста.
- Основное влияние на деревья младшей возрастной группы оказывают деревья среднего возраста [6], причем угнетение пропорционально концентрации деревьев средней возрастной группы.
- Количество хвойных и лиственных деревьев, переходящих из средней возрастной группы в старшую, пропорционально концентрациям средних групп и обратно пропорционально классам возраста.
- Смертность деревьев средней возрастной группы пропорциональна их концентрации.
- Смертность деревьев старшей возрастной группы пропорциональна их концентрации и обратно пропорциональна продолжительности жизни.

Исходные данные для расчетов и проверки хода роста возможно получать при помощи специальной беспилотной техники [7].

Тогда запишем:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = rw - fu - gvu, \\ \frac{dv}{dt} = fu - mv - pv, \\ \frac{dw}{dt} = mv - kw, \end{cases} \quad (3)$$

где r – коэффициент рождаемости, f – коэффициент перехода деревьев младшей возрастной группы в среднюю, g – коэффициент отпада деревьев младшей возрастной группы, m – коэффициент перехода деревьев средней возрастной группы в старшую, p – коэффициент смертности средней возрастной группы, k – коэффициент смертности старшей возрастной группы.

В нашем исследовании рассматривается восстановление ценоза после пожара. Таким образом, в первые годы будут отсутствовать деревья среднего и старшего возраста. Тогда, для строгости, дополним уравнения (3):

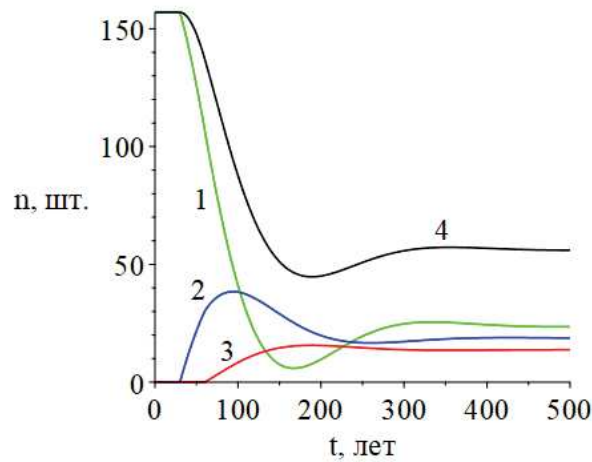
$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = rw - fu \text{He}(t - t_v) - gvu, \\ \frac{dv}{dt} = fu \text{He}(t - t_v) - mv \text{He}(t - t_w) - pv, \\ \frac{dw}{dt} = mv \text{He}(t - t_w) - kw, \end{cases} \quad (4)$$

где t_v – возраст, соответствующий переходу в среднюю возрастную группу, t_w – возраст, соответствующий переходу в старшую возрастную группу, $\text{He}(\xi)$ – единичная функция:

$$\begin{cases} \text{He}(\xi) = 1, \xi \geq 0 \\ \text{He}(\xi) = 0, \xi < 0 \end{cases} \quad (5)$$

где ξ – аргумент функции (6).

Получить точное решение системы дифференциальных уравнений (4) сложно, в связи с чем будем ориентироваться на получение численного решения, например, с использованием метода Рунге-Кутты 4-5 порядка точности. Для реализации математической модели (4) необходимые числовые оценки коэффициентов r, f, g, m, p, k . Например, при $g = 3,75 \cdot 10^{-2}$, $p = 3,125 \cdot 10^{-3}$, $k = 9,375 \cdot 10^{-3}$, $f = 7,906 \cdot 10^{-3}$, $m = 6,88 \cdot 10^{-3}$, $r = 6,47 \cdot 10^{-2}$ и $s_0 = s_1 = s_2 = s_3 = 1$, $t_v = 30$ лет, $t_w = 60$ лет, $x(0) = 157$ шт., $y(0) = 0$, $z(0) = 0$, получим результаты, представленные на рисунке 1.



1 – младшая возрастная группа, 2 – средняя возрастная группа,
3 – старшая возрастная группа, 4 – общее число деревьев на участке

Рисунок 1 - Пример результатов расчета восстановления древостоя после пожара

ЛИТЕРАТУРА

1. Куницкая О.А., Новгородов Д.В., Марков О.Б. Проблемы эффективной переработки поврежденной лесным пожаром древесины // Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-

практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2021». 2021. С. 285-291.

2. Куницкая О.А., Никитина Е.И., Николаева Ф.В. Особенности лесозаготовки в Республике Саха Якутия // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 255-летию Землеустройству Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 308-313.

3. Куницкая О.А., Никитина Е.И. Экологические аспекты выборочных рубок леса // Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации. сборник статей III Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения-2020" : в 3 томах. Белорусский государственный технологический университет, Представительство федерального агентства по делам СНГ, соотечественников, проживающих за рубежом, и по международному гуманитарному сотрудничеству (Россотрудничество) в Республике Беларусь. Минск, 2021. С. 286-291.

4. Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'Ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. Т. 18. № 2. С. 19-26.

5. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. Т. 8. № 4. С. 1385-1393.

6. Гавриков Л., Секретенко О.П., Хлебопрос Р.Г. Анализ структуры древесных ценозов, Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 94 с.

7. Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Куницкая О.А. Беспилотная техника для целей лесного комплекса и мониторинга состояния водных объектов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 10. С. 3-10.