

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА СЕМЯН БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО ВОЗДУШНЫМИ ПОТОКАМ

Далькэ И.В.<sup>1</sup>, Чадин И.Ф.<sup>1</sup>, Захожий И.Г.<sup>1</sup>, Малышев Р.В.<sup>1</sup>, Тишин Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия

[dalke@ib.komisc.ru](mailto:dalke@ib.komisc.ru)

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия  
[dtishin80@gmail.com](mailto:dtishin80@gmail.com)

**Аннотация:** Разработана индивидуальная модель анемохорного расселения семян борщевика Сосновского. Дистанция переноса диаспор зависела от скорости и высоты их падения, скорости ветра. В модели учтены изменения скорости ветра и расход осыпающихся семян. 40% диаспор падают самопроизвольно рядом с материнским растением, остальные – распространяются в зависимости от скорости ветра на ближние (до 10 м) и дальние дистанции (до 30 м).

В последнее десятилетие широко обсуждается экологическое и социально-экономическое влияние инвазии гигантских борщевиков (Ecology and Management..., 2007). В России затраты по ликвидации нежелательных зарослей борщевика Сосновского за последние 10 лет превысили 300 млн. руб (Dalke et al., 2018). Диаспоры борщевиков расселяются с помощью ветра (анемохория), воды (гидрохория) и человека (антропохория). Семена борщевиков сочетают баллистические приспособления с анемохорными. Для семейства был описан особый тип расселения семян – «баллисты типа Зонтичных» когда за счет упругих осей происходит катапультирование диаспор, а затем ветер участвует в их распространении (Левина, 1957). Моделирование анемохорного расселения семян гигантских борщевиков позволяет рассчитать скорость и направление вторжения, что особенно актуально для территорий, где первые находки растений вне агроценозов отмечены относительно недавно. Целью работы было создать модель анемохорного расселения борщевика Сосновского и оценить дальность переноса его диаспор.

Морфологические параметры растений и аэродинамические характеристики семян были получены на растительном материале, собранном в 2018-2019 гг. в типичных местообитаниях вторичного ареала борщевика Сосновского таёжной зоны Республики Коми (г. Сыктывкар, 61.645333, 50.733196) и Республики Татарстан (г. Казань, 55.80352, 49.16485).

На основе баллистической модели (Nathan et al., 2011):

$$D = \frac{hu}{V} \quad (1)$$

где: D – дистанция разлета диаспор, м;

h – высота генеративного побега и положения соцветий, с которых падают семена, м;

u – скорость горизонтального потока воздуха, м/с;

V – предельная скорость падения диаспоры, м/с,

была разработана имитационная модель для определения дистанций полета отдельных семян борщевика Сосновского (individual based modelling).

После сравнения расчетных дистанций переноса семян борщевика Сосновского, с результатами измерений дистанций полета семян в естественных условиях, в разрабатываемую модель были введены положения:

1) Скорость ветра на высоте расположения соцветий растений рассчитывали, используя данные метеослужб о скорости ветра на высоте 10-12 м и степенной показатель  $\alpha$  (медианное значение 0.33) отражающий влияние шероховатости подстилающей поверхности на профиль скорости ветра.

2) Около 40% семян осыпаются самопроизвольно (автохоры), без воздействия ветра, рядом с материнским растением, остальные – распространяются с порывами ветра (анемохоры).

3) Банк семян из соцветий расходуется порциями в зависимости от скорости ветра. Минимальная скорость ветра, при которой семена отрывалась от карпофоров составила 3 м/с, а максимальная около 12 м/с.

Расчет дистанции полета семян борщевика Сосновского выполняли поэтапно с помощью набора подготовленных R скриптов:

Этап 1. Подготовка исходных данных: высота зарослей растений; скорость падения семян; доля семян, которая оторвется от зонтика при достижении определенной скорости ветра; скорость ветра по сведениям метеостанции в районе исследования.

Этап 2. Подготовка расчетных величин на основе исходных метеоданных: сумма активных температур (САТ); даты наступления критической суммы активных температур (САТ = 1100 °С), необходимой для завершения цветения; отбор последовательностей скоростей ветра, начиная с даты окончания плодоношения до окончания календарного года.

Этап 3. Расчет дистанций полета семян на основе набора данных: высота зонтиков над уровнем земли; скорость падения семян; исходное количество семян на одном зонтике; последовательность скоростей ветра; диапазон коэффициента  $\alpha$  для расчета вертикального градиента скорости ветра.

Дистанцию полета семян определяли как интеграл функции зависимости скорости ветра от времени падения диаспоры:

$$D = \int_{t_0}^{t_k} U r \left( \frac{Vt}{Z_r} \right)^\alpha, \quad (2)$$

где:

$D$  – дистанция разлета диаспор, м;

$U r$  – скорость ветра, измеренная на высоте  $Z_r$  (используется высота 3 м), м/с;

$Z_r$  – высота, на которой измерена скорость ветра (высота зонтика), м;

$V$  – скорость падения семени, м/с;

$\alpha$  – степенной показатель, отражающий влияние шероховатости подстилающей поверхности на профиль скорости ветра, изменяющийся от 0 до 1:

$t_0$  – начальное время падения семени (равно 0);

$t_k$  – конечное время падения семени (зависит от высоты расположения соцветия и массы семени).

В результате моделирования было показано, что 99% семян разлетались в окрестностях Сыктывкара на расстояние до 10 м, остальные диаспоры переносились на дистанцию до 20 м. В условиях Казани семена распространялись в 1.5-2 раза дальше, чем в окрестностях Сыктывкара благодаря большей скорости ветра. Максимальные дистанции переноса диаспор достигали в окрестностях Сыктывкара 30 м, в Казани 40 м.

## Литература

- Левина Р.Е. Способы распространения плодов и семян. 1957. М.: Изд-во МГУ. 358 с.
- Dalke I.V., Chadin I.F., Zakhochiy I.G. Control of Sosnowskyi's Hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) Invasion on the Territory of the Russian Federation // Russian Journal of Biological Invasions. 2018. V. 9. №. 4. P. 331–344.
- Ecology and Management of Giant Hogweed (*Heracleum Mantegazzianum*) / Eds. P Pyšek, M.J.W. Cock, W. Nentwig, H.P. Ravn. 2007. CABI Publishing Wallingford, United Kingdom. P.352.
- Nathan R., Katul G.G., Bohrer G., Kuparinen A., Soons M.B., Thompson S.E., Trakhtenbrot A., Horn H. Mechanistic models of seed dispersal by wind // Theoretical Ecology. 2011. V. 4. № 2. P. 113–132.