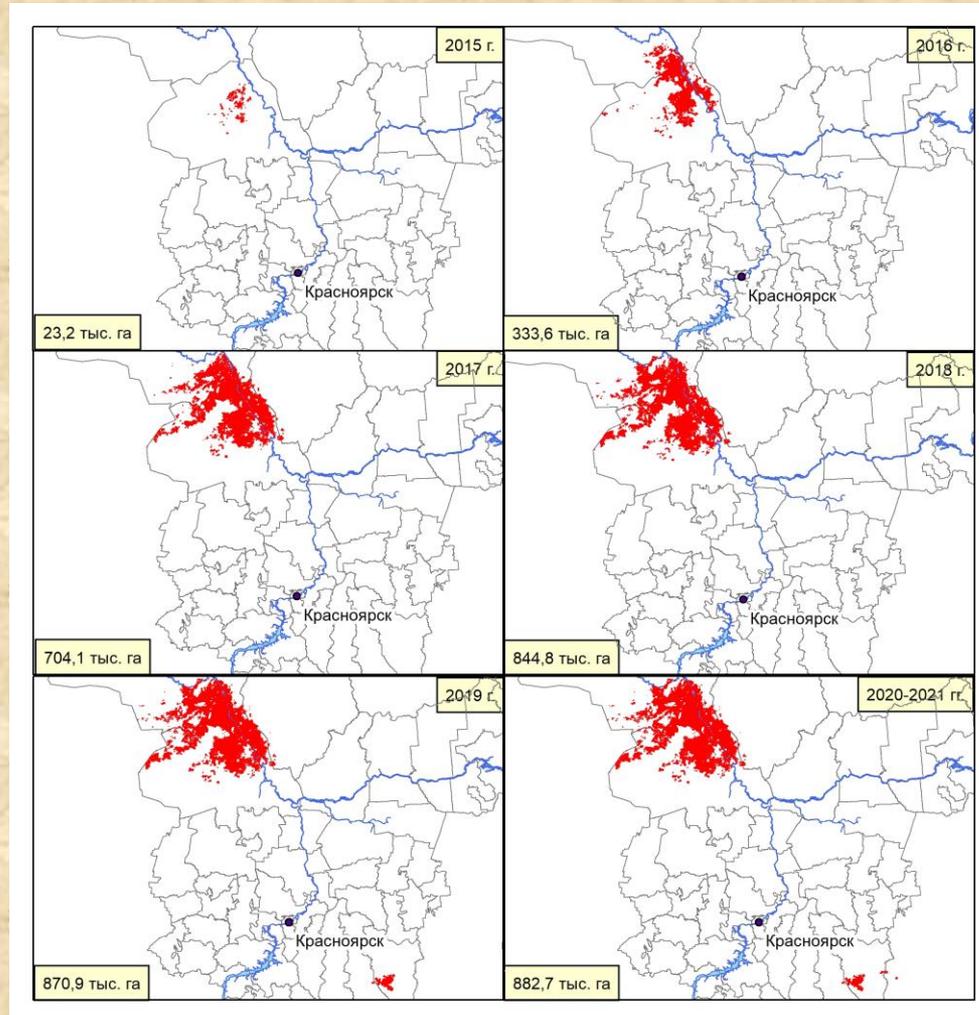


**Кто виноват и что делать:  
вспышки массового  
размножения лесных  
насекомых и потоки углерода в  
лесных экосистемах**

Суховольский В.Г. (ИЛ СО РАН),  
Ковалев А.В. (ФИЦ КНЦ СО РАН),  
Тарасова О.В. (СФУ),  
Иванова Ю.Д. (ИБФ СО РАН)

Вспышки массового размножения насекомых – одна из основных причин повреждений и гибели российских лесов. Площади повреждения лесов насекомыми варьируют в разные годы в пределах от 10 до 24% общей площади повреждения лесов. Так, площади очагов насекомых в 2022 г. составляли около 2 млн га. При этом слабые повреждения затронули 560 тыс.га, средние повреждения – 815 тыс.га, сильные повреждения – 610 тыс. га. Уничтожено вредителей на площадях 660 тыс. га.

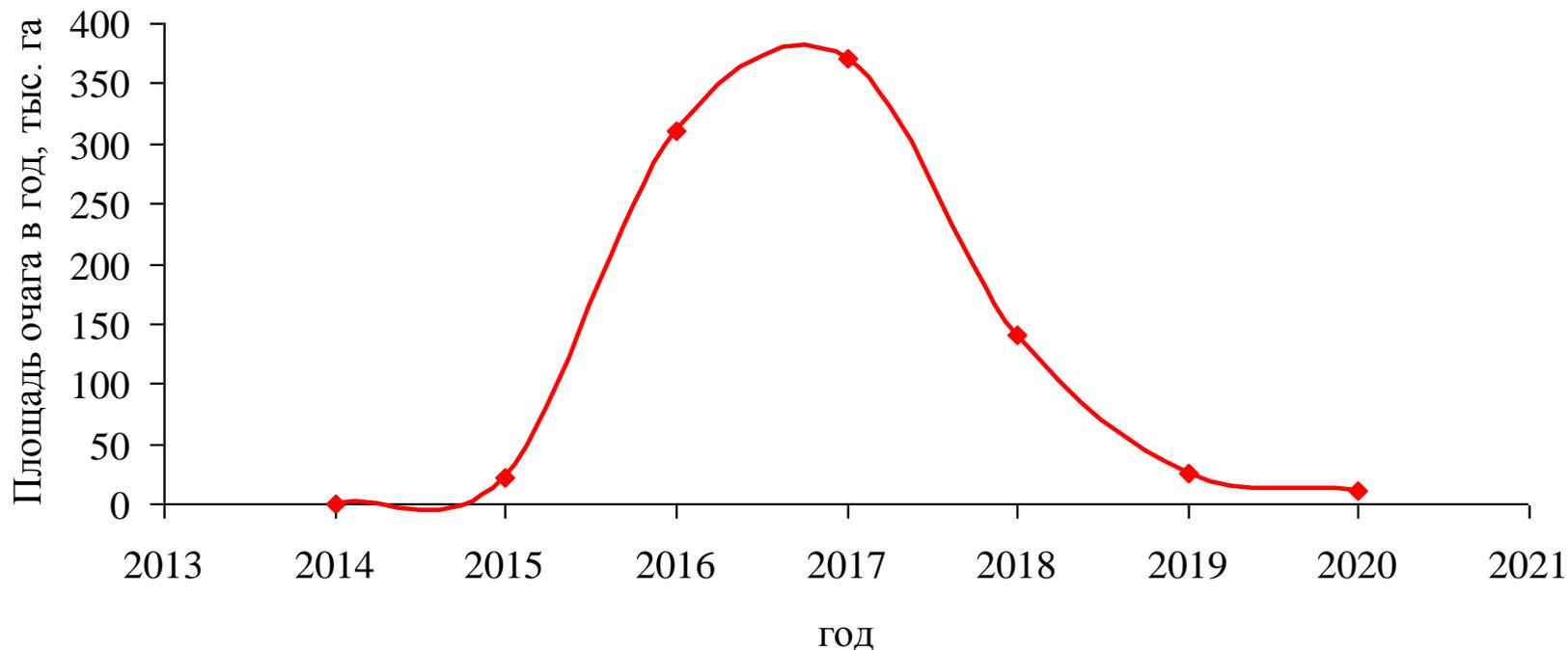
# Красноярский край: вспышка массового размножения сибирского шелкопряда (2015-2020 гг.)



# Ирбейский район: масштабы повреждений леса при вспышках

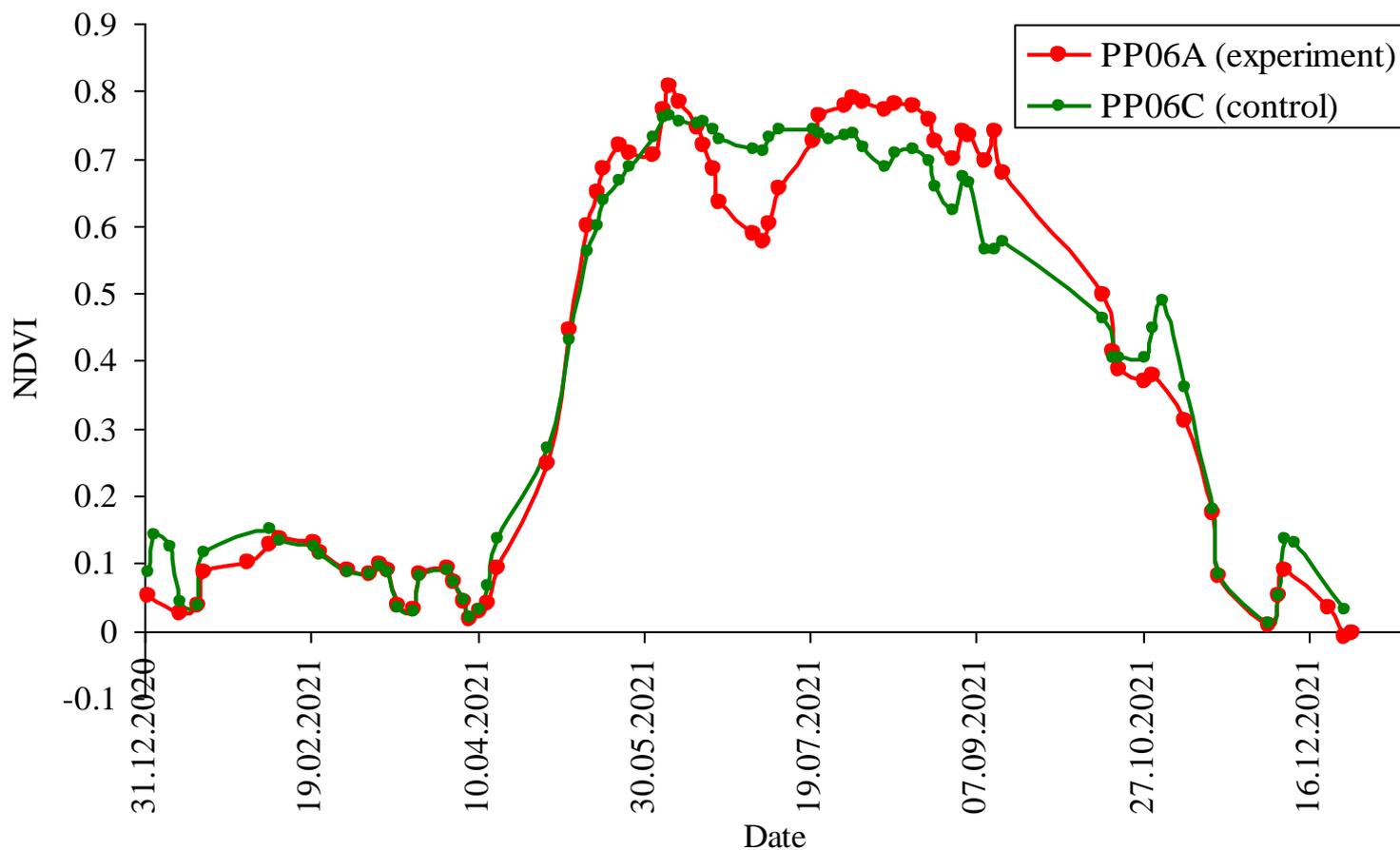


# Годичная динамика площадей поврежденных насаждений на территории Красноярского края (тыс.га)

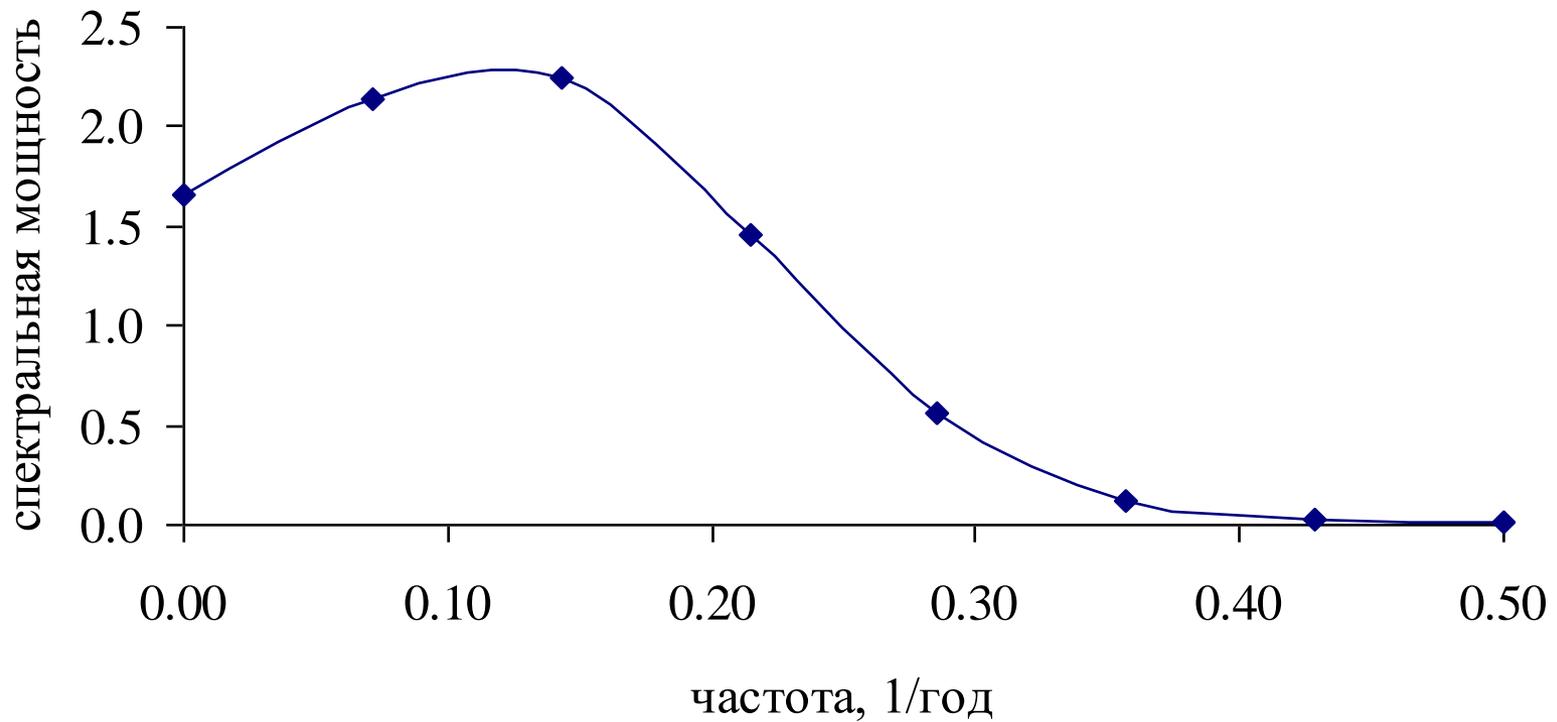


Всего повреждено ~880 тыс.га

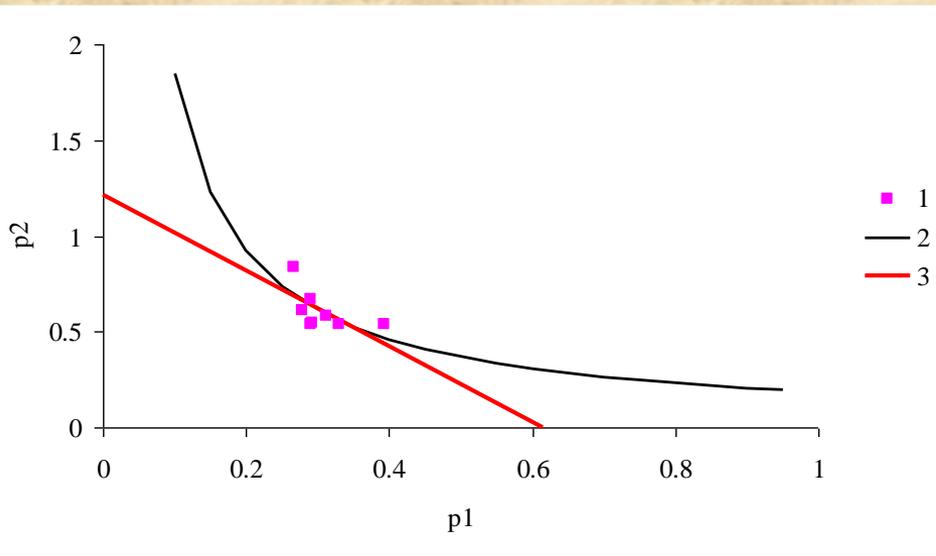
# Не все так печально: непарный шелкопряд в Западной Сибири



# Спектр рядов динамики площадей вспышек массового размножения лесных насекомых в РФ



# Уравнение баланса углерода при потреблении корма



Модель потребления

$$ap_1 + (1 + b)p_2 = 1$$

$$p_1 p_2 \rightarrow \max$$

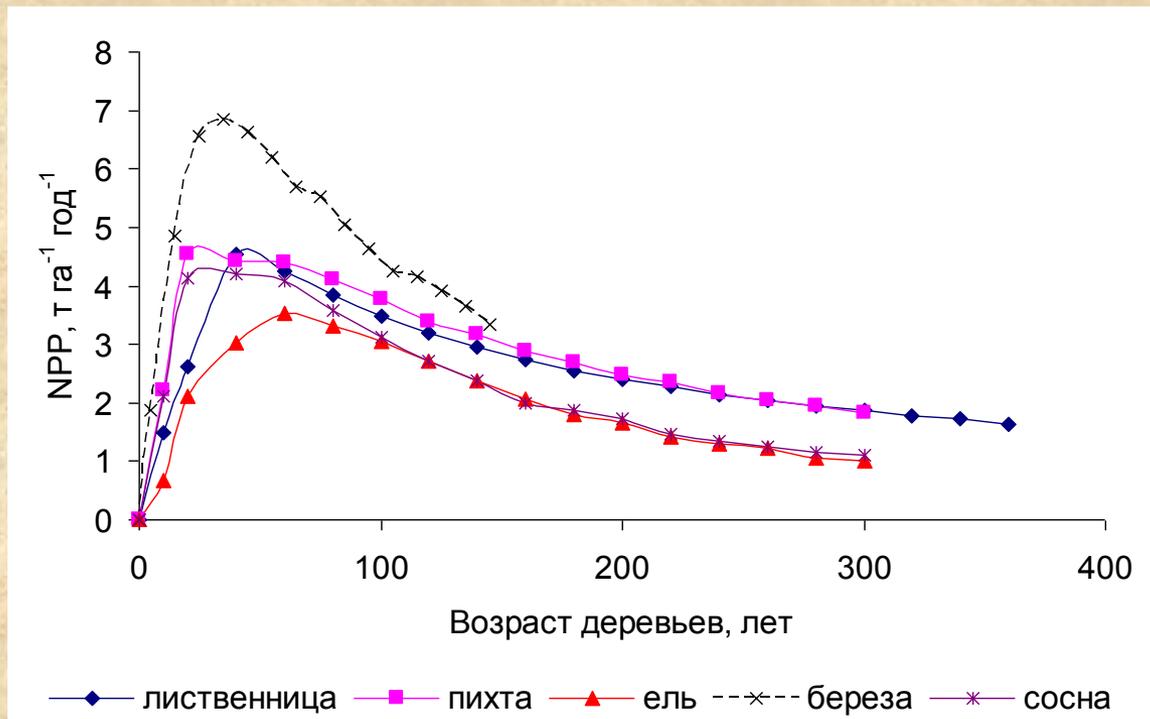
Энергетический баланс самок непарного шелкопряда, питающихся листьями березы. 1: характеристики  $(p_1, p_2)$  индивидуальных гусениц; 2: кривая эффективности питания  $q = p_1 \times p_2$ ; 3: линия бюджетных ограничений при потреблении корма (Soukhovolsky et al., 2023).

# «Судьба» хвои в ходе вспышки сибирского шелкопряда в Енисейском районе Красноярского края

фракции	т га <sup>-1</sup>	весь очаг, млн.т
изъятая хвоя	8.26	7.29
Экскременты	3.72	3.29
биомасса гусениц	0.71	0.63
СО <sub>2</sub>	3.83	3.38
древесина с корнями	128.3	112.9

# Упущенная выгода (lost profit) депонирования (Soukhovolsky, Ivanova, 2018)

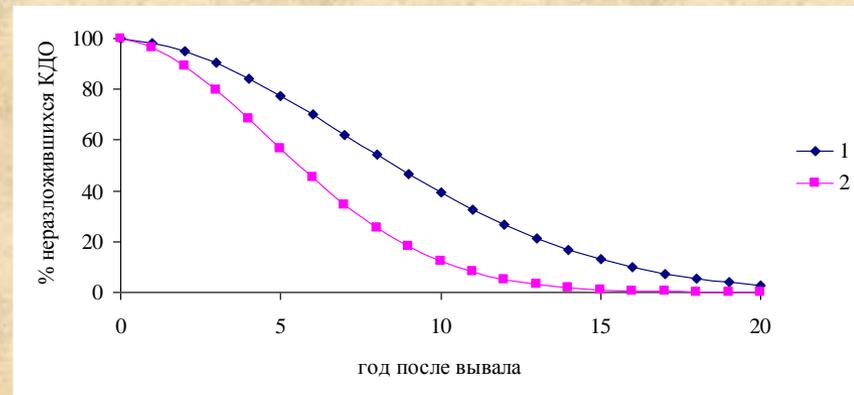
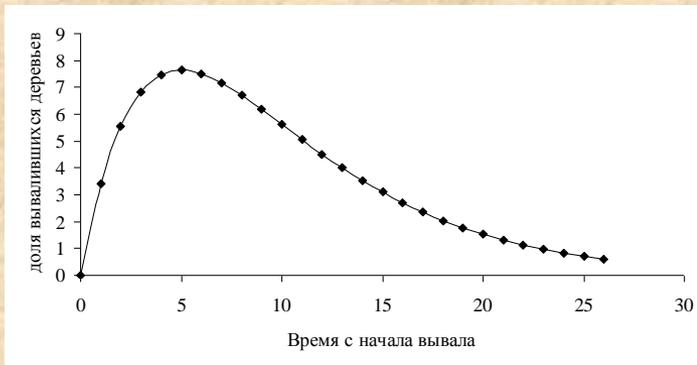
$$LP = \int_{t_0}^{t_0+\tau} h(NPP(\tau))z(t-\tau)d\tau$$



LP (Енисейск)  $\approx$  20 млн.т

# две фазы пост-вспышечного процесса: ветровал и разложение древесины

$$M(t) = \int_0^{T_c} \exp(-\lambda T) dt \int_{T_0}^{T_c} AT \exp(-\mu(T - T_c)) d\tau$$



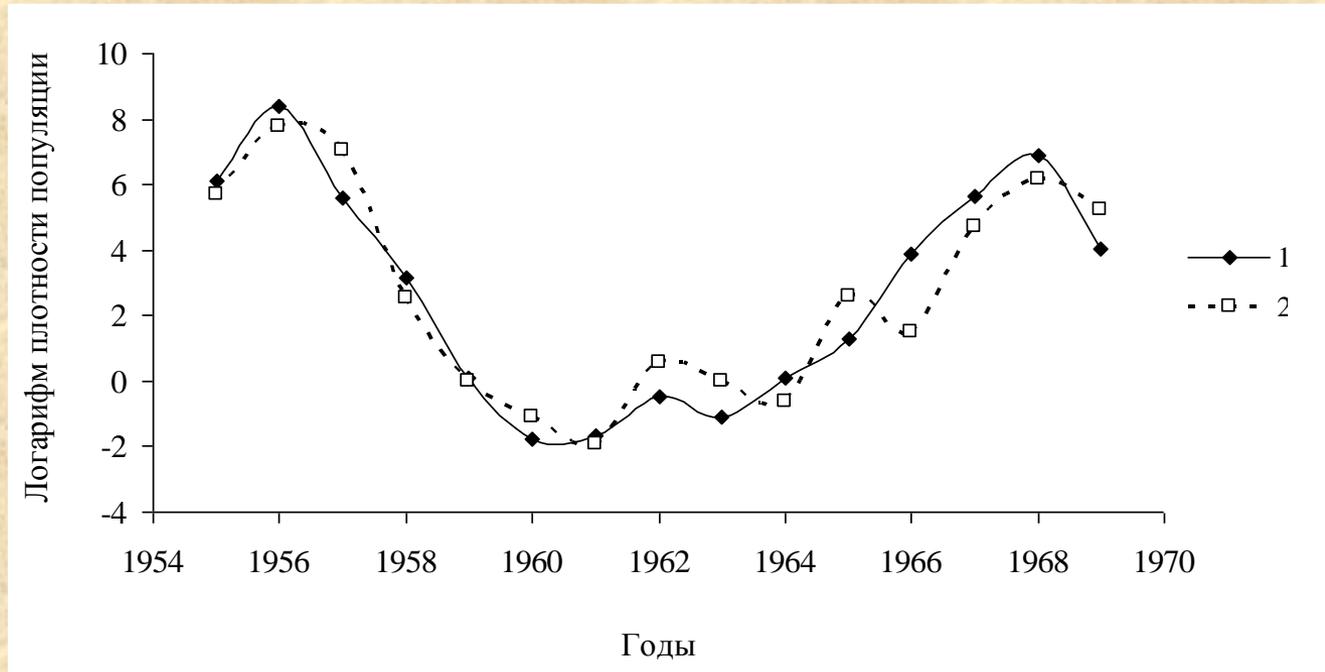
# Что делать: можно ли управлять вспышками массового размножения?

Вспышки массового размножения лесных насекомых - такой же закон природы как, например, закон всемирного тяготения, и надеяться на прекращение этого процесса (например, полностью уничтожив насекомых) даже при выделении соответствующих финансовых средств нельзя, однако можно попытаться добиться уменьшения потерь от воздействия насекомых, дав своевременный прогноз вспышки .

Мониторинг российских лесов: проклятье  
размерности

Площадь лесов Красноярского края – 170 млн га

# Сибирский шелкопряд на Ангаре: точечная ADL- МОДЕЛЬ



$$\ln X(i) = -4.96 + 1.43 \ln X(i-1) - 0.68 \ln X(i-2) + 0.62 T(5, i)$$

1 – натурные данные; 2 – ADL-модель (Soukhovolsky et al., 2022; Суховольский и др., 2022; Суховольский и др., 2020)

# Погода как фактор возникновения вспышки

Треугольник «Енисейск-Богучаны-Тасеево»: площадь ~ 40 000 кв. км.

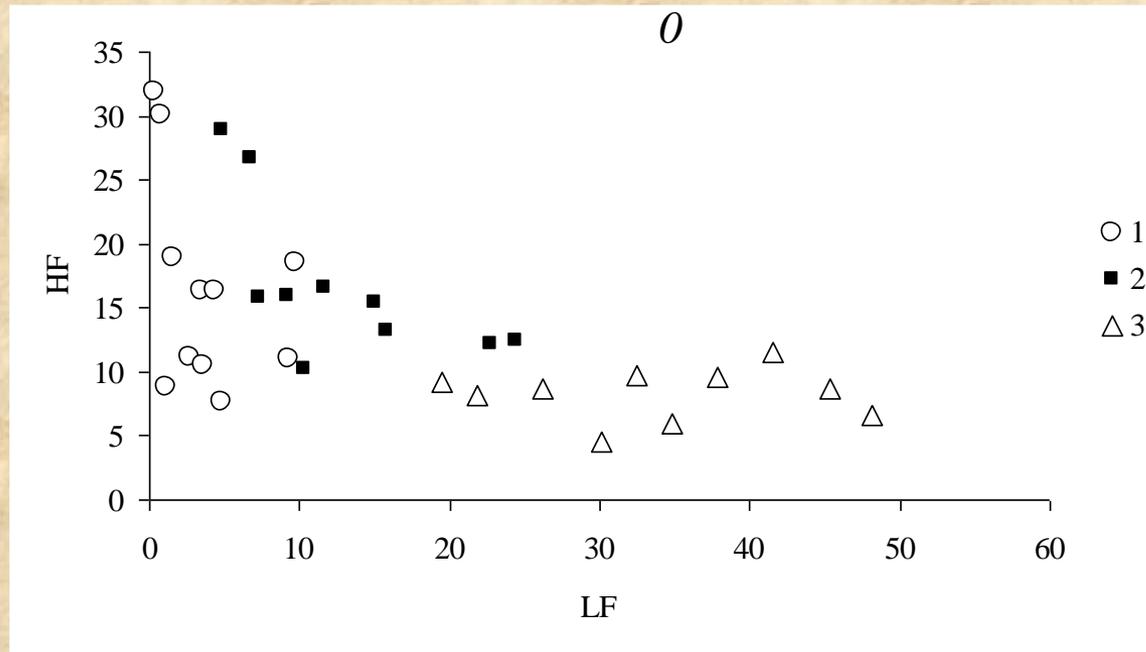
Коэффициент корреляции по погоде – 0.97.

Площадь первичного очага = не более 1 кв.км.

В этих условиях точно определить зону будущей вспышки по погодным условиям невозможно. Погода может быть необходимым, но недостаточным условиям вспышки (Тарасова, Волков, 2021).

# Влияние изменений LST на изменения NDVI: функция отклика $h(\tau)$

$$\Delta NDVI(t) = \int_0^t h(\tau) \Delta LST(t - \tau) d\tau$$



Низкочастотные (LF) и высокочастотные (HF) характеристики функций отклика для насаждений. 1 – до вспышки, 2011г.; 2 – перед вспышкой, 2013 гг.; 3 – после повреждений, 2020 г. (Kovalev, Soukhovolsky, 2021).

## Выводы

1. Вспышки массового размножения лесных насекомых ведут к значительным повреждениям лесов. Согласно официальным данным Рослесхоза, в течение 2016 - 2021 гг. были повреждены насаждения с фитомассой более 1200 млн т.
2. По модели потребления можно оценить объем выбросов в атмосферу в виде диоксида углерода. В ходе вспышек массового размножения на территории России в 2016 - 2020 гг. выброшено в атмосферу ~17 млн. т С.
3. Последняя вспышка массового размножения сибирского шелкопряда в Енисейском районе Красноярского края на площади 880 тыс. га может в течение ближайших 20 лет способствовать разбалансу процесса депонирования примерно в 70 млн.т С + упущенной выгоде депонирования около 20 млн.т С.

# перспективы

1. Уточнение баланса углерода для вспышек массового размножения различных видов филлофагов и ксилофагов.
2. Оценка пост-вспышечных процессов и процессов восстановления насаждений после вспышек.
3. Оценка зон и частоты вспышек для разных эруптивных видов вредителей.
4. Построение карт рисков выбросов CO<sub>2</sub> по запасам фракций фитомассы и моделям динамики очагов для вспышек разных видов вредителей, включая риски появления инвазивных видов..
5. Развитие стратегии мониторинга популяционной динамики и прогнозов вспышек массового размножения лесных насекомых с учетом возможностей и стоимости борьбы с вредителями.

Soukhovolsky V., Tarasova O., Pavlushin S., Osokina E, Akhanaev Y., Kovalev A., Martemyanov V. Economics of a feeding budget: a case of diversity of host plants for *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera) feeding on leaves or needles// Diversity 2023, 15(1), 102; doi: 10.3390/d15010102.

Soukhovolsky V., Ovchinnikova, T.; Tarasova, O.; Ivanova, Y.; Kovalev, A. Regulatory Processes in Populations of Forest Insects (a Case Study of Insect Species Damaging the Pine *Pinus sylvestris* L. in Forests of SIBERIA)// Diversity 2022, 14, 1038. <https://doi.org/10.3390/d14121038>.

Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д. Развитие очагов вспышек массового размножения лесных насекомых на разных пространственных масштабах// Лесоведение, 2023, № 2.

Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д., Ковалев А.В. Нужно ли что-то знать о хищниках при моделировании динамики численности жертв?// ЖОБ, 2022, т.83. № 4, с. 288 – 301.

Soukhovolsky V., Kovalev A., Tarasova O., Modlinger R., Křenová Z., Mezei P., Škvarenina J., Rožnovský J., Korolyova N., Majdák A and Jakuš R.. Wind Damage and Temperature Effect on Tree Mortality Caused by *Ips typographus* L.: Phase Transition Model// Forests 2022, 13, 180. <https://doi.org/10.3390/f13020180>.

Солдатов В.В., Суховольский В.Г. Принятие решений в задачах защиты леса от насекомых-вредителей// Сибирский лесной журнал, 2021, № 5. С 101-111.

Kovalev A., Soukhovolsky V.

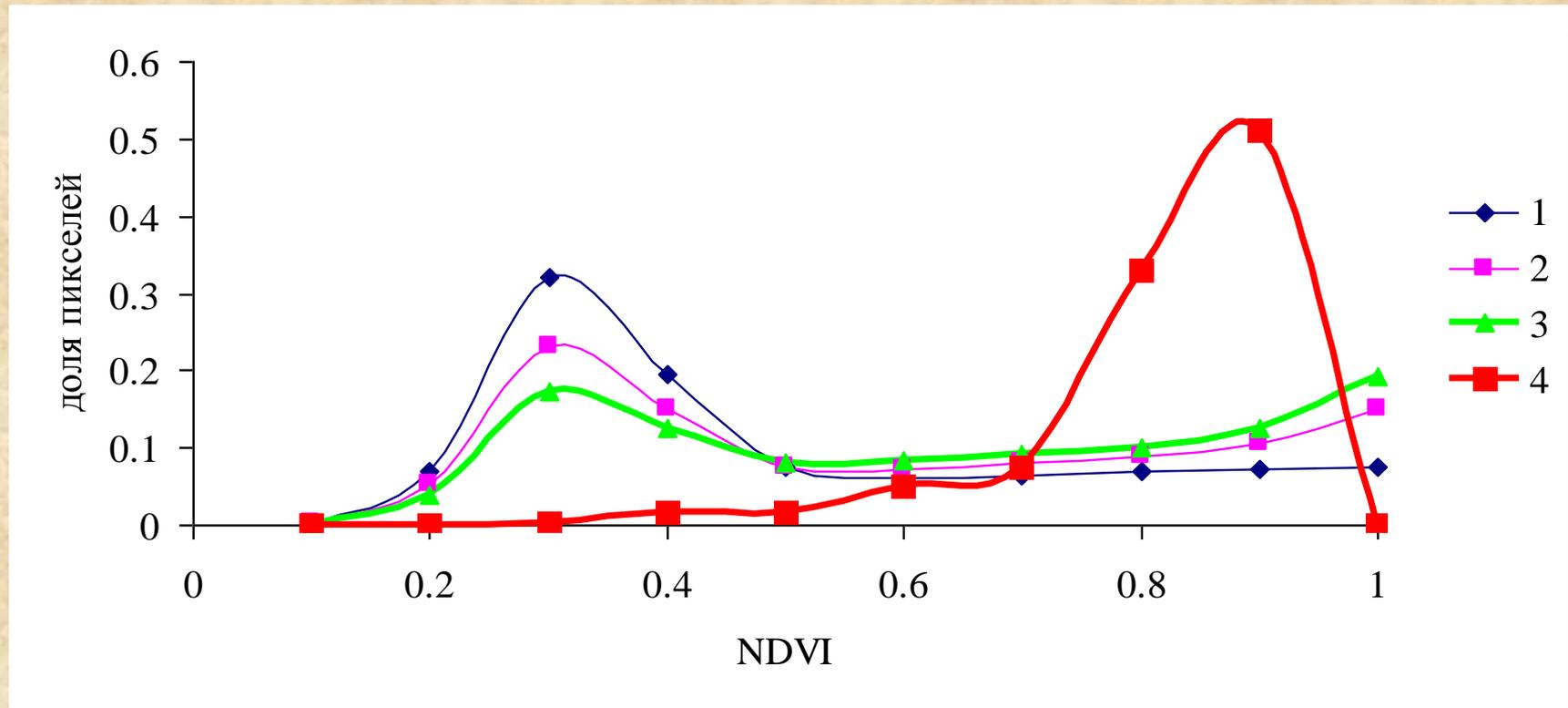
Analysis of Forest Stand Resistance to Insect Attack According to Remote Sensing Data // Forests 2021, 12, p. 1188-1201. <https://doi.org/10.3390/f12091188> .

Суховольский В.Г., Тарасова О.В., Ковалев А.И. Моделирование критических явлений в популяциях лесных насекомых// ЖОБ, т. 81, № 5. 2020. С. 374–386.

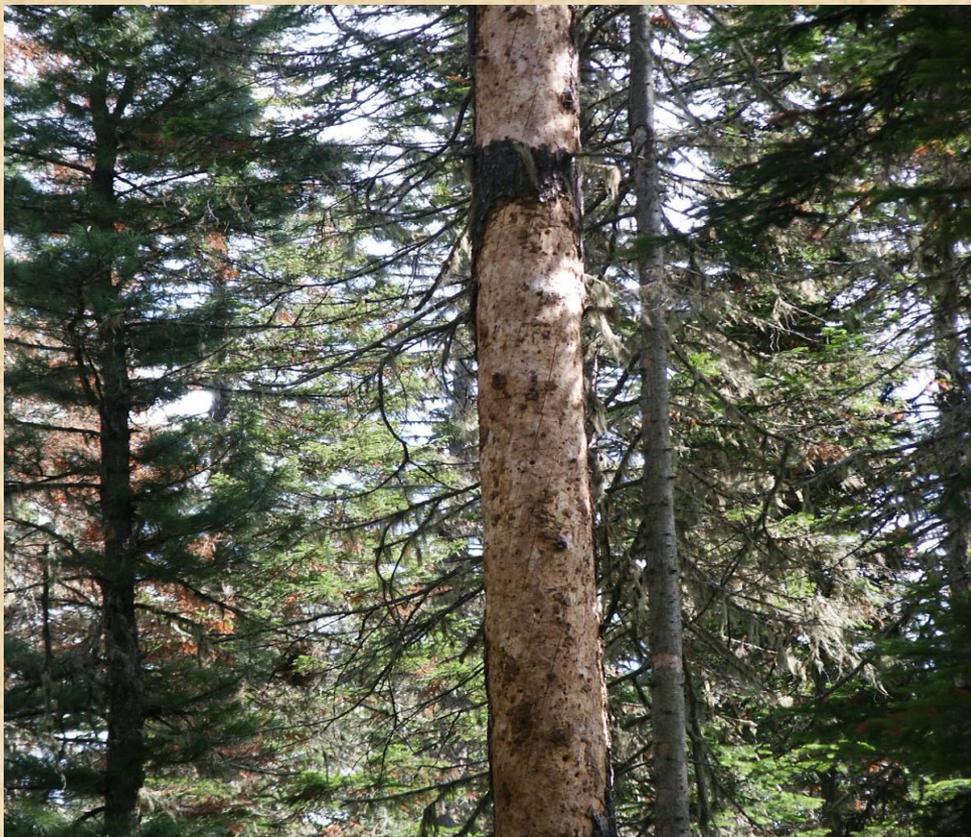
Soukhovolsky V., Ivanova Y. Modeling Production Processes in Forest Stands: An Adaptation of the Solow Growth Model// Forests. 2018. № 9. P. 391 - 403.

**Благодарю за внимание**

# Повреждения хвои деревьев в течение сезона (распределение по пикселям NDVI)



# Пост-вспышечные процессы



Article

# Economics of a Feeding Budget: A Case of Diversity of Host Plants for *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera) Feeding on Leaves and Needles

Vladislav Soukhovolsky <sup>1,2,3</sup>, Olga Tarasova <sup>2</sup>, Sergey Pavlushin <sup>4</sup> , Ekaterina Osokina <sup>5</sup>, Yuriy Akhanaev <sup>4</sup> , Anton Kovalev <sup>3,\*</sup>  and Vyacheslav Martemyanov <sup>4,\*</sup>

<sup>1</sup> V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Akademgorodok 50/28, 660036 Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> Department of Ecology and Nature Management, Siberian Federal University, Av. Svobodny 79, 660041 Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Akademgorodok 50, 660036 Krasnoyarsk, Russia

<sup>4</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS, Frunze Str. 11, 630091 Novosibirsk, Russia

<sup>5</sup> Department of Natural Science, Novosibirsk State University, Pirogova Str. 1, 630090 Novosibirsk, Russia

\* Correspondence: sunhi.prime@gmail.com (A.K.); martemyanov79@yahoo.com (V.M.);

Tel.: +7-9039236335 (A.K.)

**Abstract:** Relationships were analyzed among the energy-related characteristics of feed consumption by caterpillars of the spongy moth (also known as gypsy moth) *Lymantria dispar* L., survival of individuals, and fecundity of females depending on the species of a host plant. An optimization model of feed consumption was used for the calculations. In this model, efficiency of consumption depends on two parameters: efficiency of metabolic degradation of feed and efficiency of caterpillar biomass synthesis. Experiments were conducted regarding the feeding of caterpillars on the leaves

Что стало с хвоей после ее потребления  
насекомыми?

$$ML = (1 - p_1)ML + p_1 p_2 ML + (ap_1^2 + bp_1 p_2)ML$$

хвоя

Экскре-  
менты

биомасса

CO<sub>2</sub>

$$a = 0.91; b = 2.18$$



## Article

# Wind Damage and Temperature Effect on Tree Mortality Caused by *Ips typographus* L.: Phase Transition Model

Vladislav Soukhovolsky <sup>1</sup>, Anton Kovalev <sup>2</sup> , Olga Tarasova <sup>3</sup>, Roman Modlinger <sup>4</sup> , Zdenka Křenová <sup>5,6</sup> , Pavel Mezei <sup>7,8</sup>, Jaroslav Škvarenina <sup>9</sup>, Jaroslav Rožnovský <sup>10,11</sup>, Nataliya Korolyova <sup>4</sup> , Andrej Majdák <sup>7</sup> and Rastislav Jakuš <sup>4,7,\*</sup>

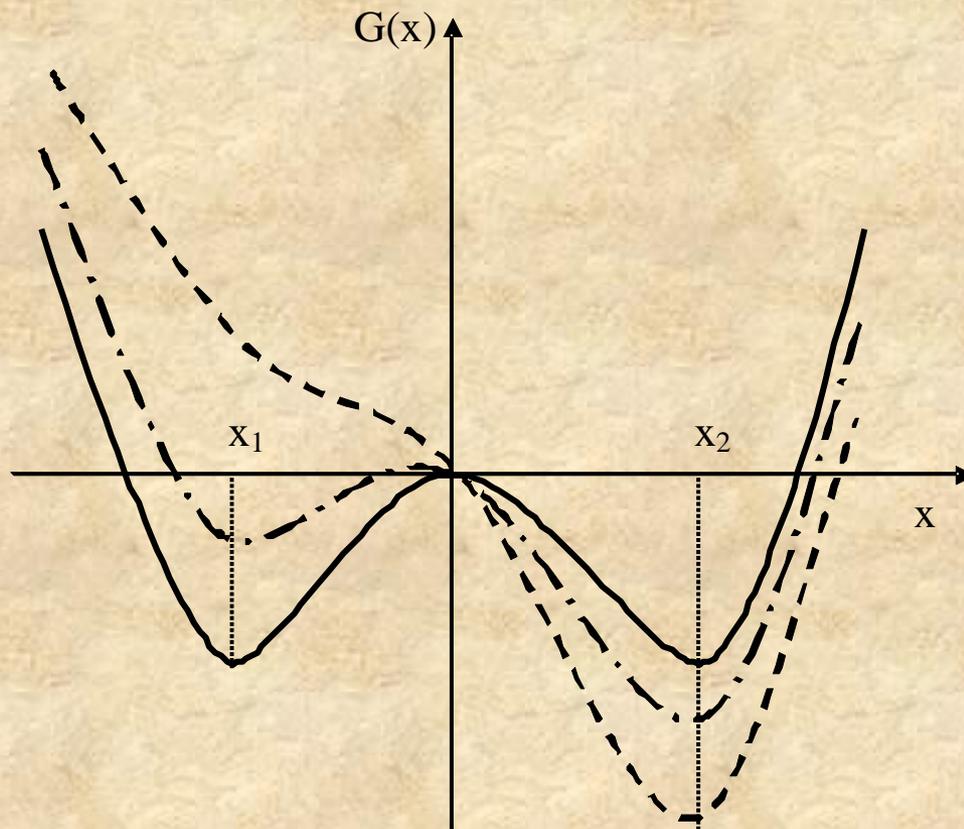
- <sup>1</sup> V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Akademgorodok 50/28, 660036 Krasnoyarsk, Russia; soukhovolsky@yandex.ru
- <sup>2</sup> Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Akademgorodok 50, 660036 Krasnoyarsk, Russia; sunhi.prime@gmail.com
- <sup>3</sup> Laboratory of Ecosystems Biogeochemistry, Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, Av. Svobodny 79, 660041 Krasnoyarsk, Russia; olvitarasova2010@yandex.ru
- <sup>4</sup> ETM, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences, Kamýčká 129, 12900 Prague, Czech Republic; modlinger@fd.czu.cz (R.M.); korolyova@fd.czu.cz (N.K.)
- <sup>5</sup> Global Change Research Centre AS CR., Bělidla 4a, 60200 Brno, Czech Republic; krenova.z@czechglobe.cz
- <sup>6</sup> Institute for Environmental Studies, Faculty of Science, Charles University, Benátská 2, 12900 Prague, Czech Republic
- <sup>7</sup> Institute of Forest Ecology, Slovak Academy of Sciences, Štúrova 2, 96053 Zvolen, Slovakia; mezei@ife.sk (P.M.); majdak@ife.sk (A.M.)
- <sup>8</sup> W. A. Franke College of Forestry and Conservation, University of Montana, Missoula, MT 59801, USA
- <sup>9</sup> Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen, 96001 Zvolen, Slovakia; jaroslav.skvarenina@tuzvo.sk
- <sup>10</sup> Institut Celoživotního Vzdělávání, Mendel University in Brno, 61300 Brno, Czech Republic; jaroslav.roznovsky@mendelu.cz
- <sup>11</sup> Czech Hydrometeorological Institute, Branch Office Brno, 61667 Brno, Czech Republic
- \* Correspondence: jakus@fd.czu.cz



**Citation:** Soukhovolsky, V.; Kovalev, A.; Tarasova, O.; Modlinger, R.; Křenová, Z.; Mezei, P.; Škvarenina, J.; Rožnovský, J.; Korolyova, N.; Majdák, A.; et al.

**Abstract:** The aim of this study was to develop methods for constructing a simple model describing tree mortality caused by *Ips typographus* L. using a minimum number of variables. We developed

# Вспышка как фазовый переход первого рода



Article

# Analysis of Forest Stand Resistance to Insect Attack According to Remote Sensing Data

Anton Kovalev <sup>1,\*</sup>  and Vladislav Soukhovolsky <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Academgorodok 50, 660036 Krasnoyarsk, Russia; soukhovolsky@yandex.ru

<sup>2</sup> Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Academgorodok 50-28, 660036 Krasnoyarsk, Russia

\* Correspondence: sunhi.prime@gmail.com; Tel: +79-039-236-335

**Abstract:** Methods for analyzing the resistance of large woodlands (such as Siberian taiga forests) to insect attacks based on remote sensing data are proposed. As an indicator of woodland’s resistance, we suggest a function of normalized difference vegetative index (NDVI) susceptibility to changes in the land surface temperature (LST). Both NDVI and LST are obtained via the TERRA/AQUA satellite system. This indicator function was calculated as the spectral transfer function of the response in the

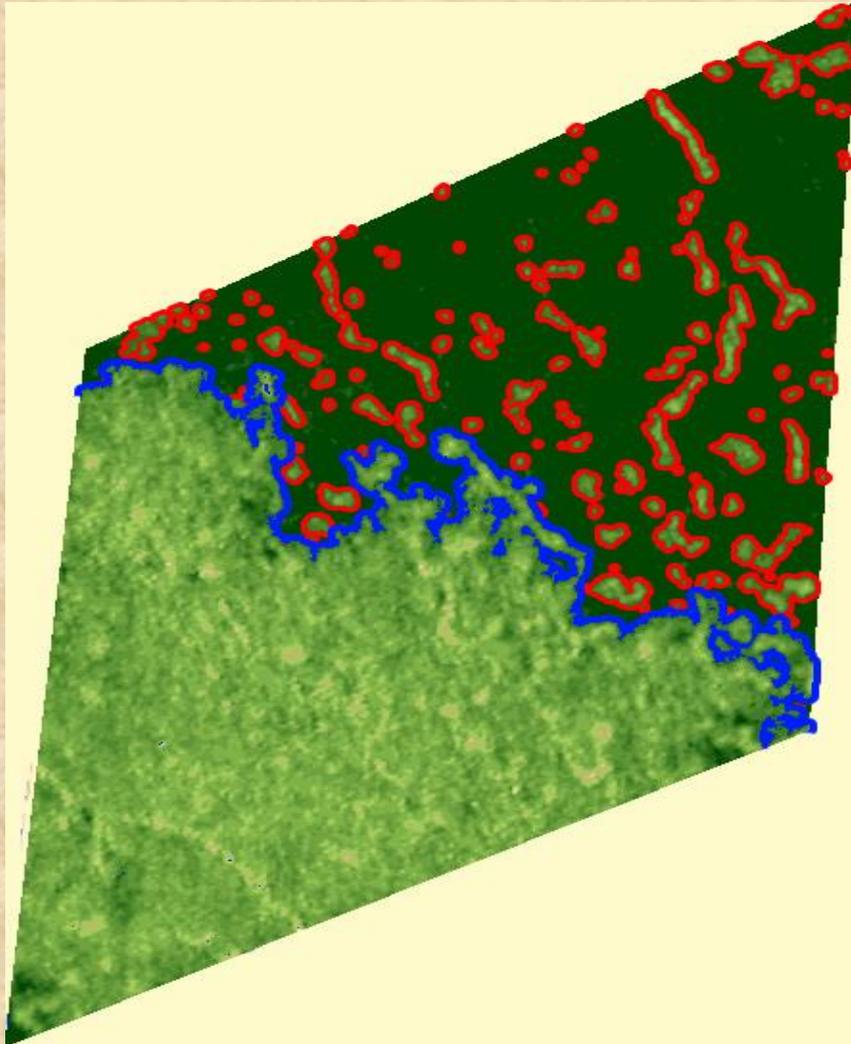
## Модель «вязких пальцев» для описания развития очага массового размножения

$$U(x, y) = -\frac{b^2}{12\eta} \nabla p(x, y)$$

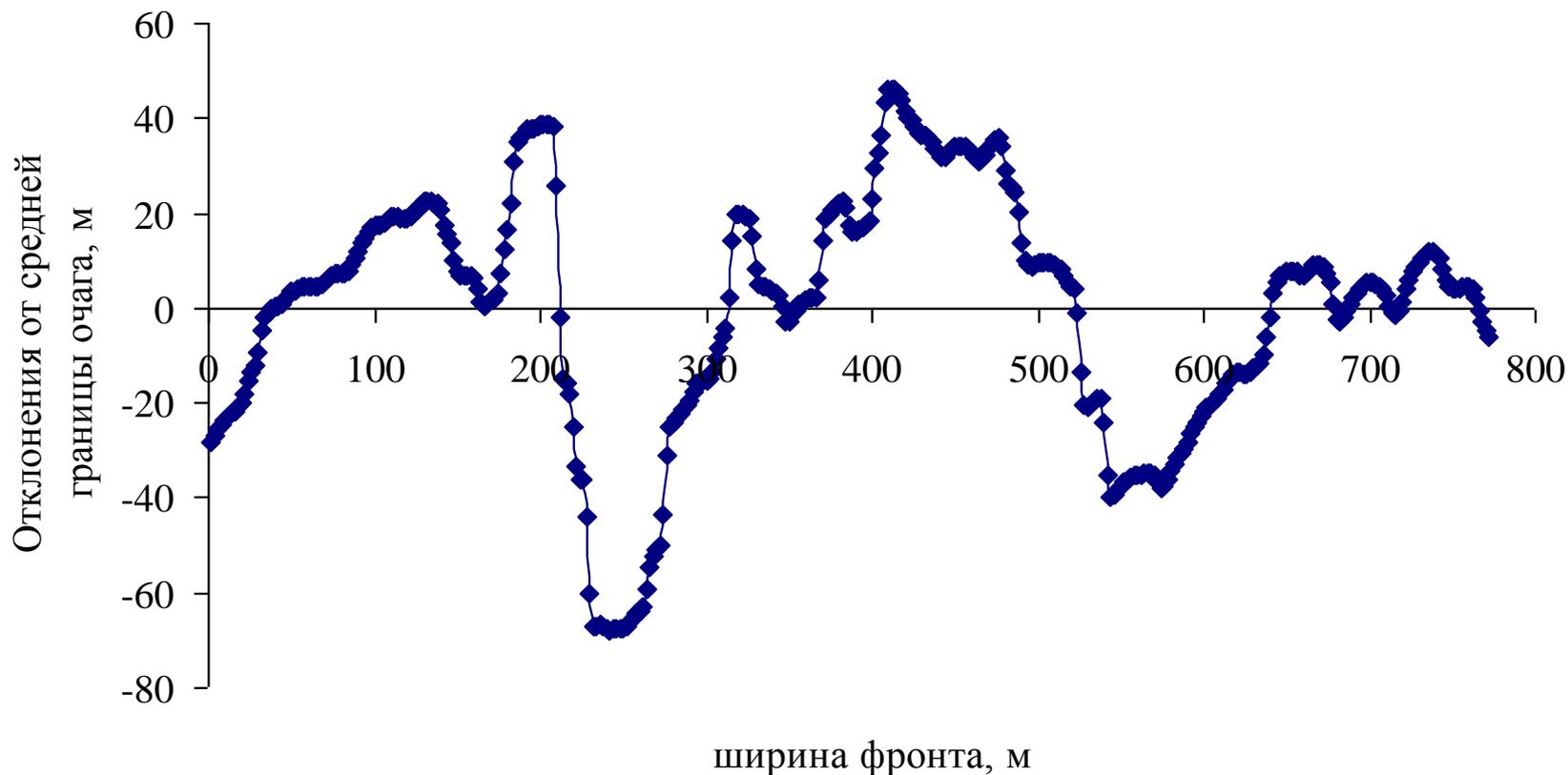
где  $U(x, y)$  – скорость движения фронта;  $\eta$  – «вязкость» среды;  $p(x, y)$  – «давление» популяции на насаждение;  $b$  – константа.

Показатель «вязкости» может характеризовать величину, пропорциональную времени, необходимому для освоения кормового растения в очаге и вне его (если устойчивость кормового растения к насекомым велика, то время освоения большое, если устойчивость мала, то и время освоения мало), «давление» – отношение плотностей насекомых в очаге и вне его.

# Границы очага массового размножения сибирского шелкопряда и lattice animals

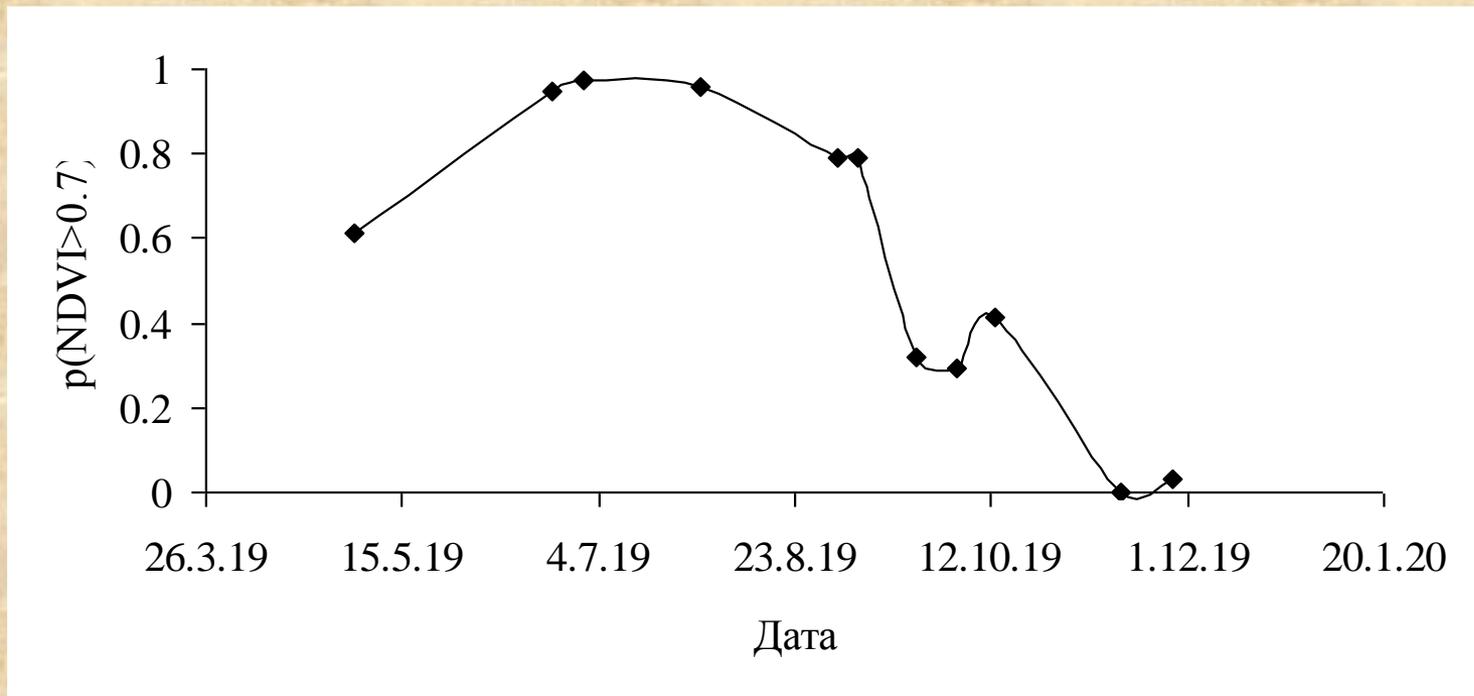


# «Вязкие пальцы» на границе очага сибирского шелкопряда в Ирбейском районе

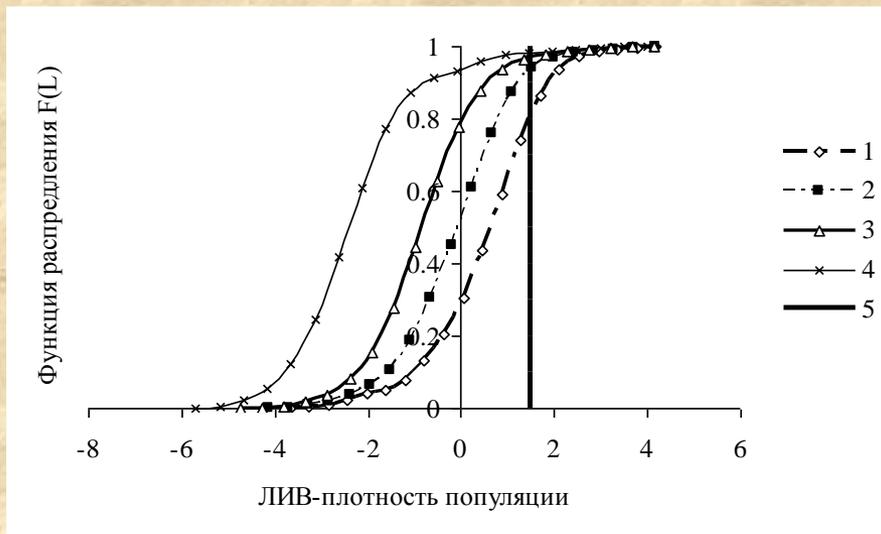


Средняя скорость роста площади очага: 0.0075 пикселей/сутки.

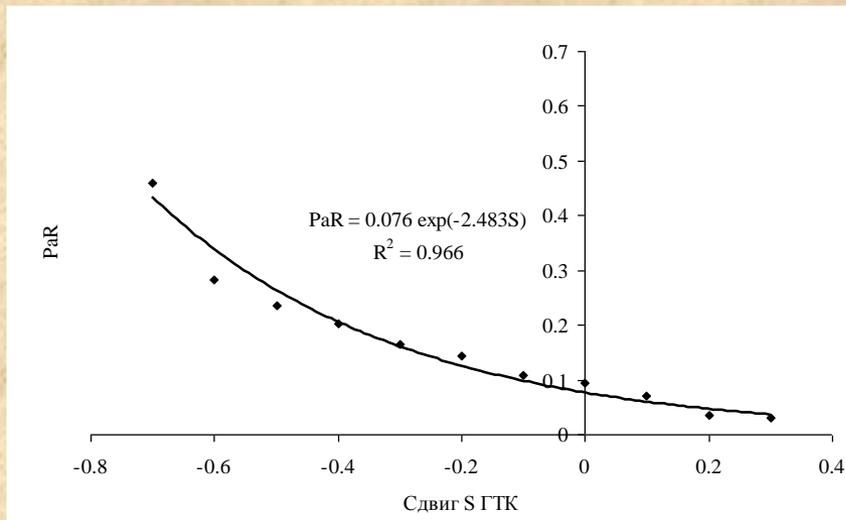
# Сезонная кривая $p(\text{NDVI} > 0.7, t)$ для 2019 г.



# Сожрут ли насекомые лес, прежде чем он вырастет при потеплении климата?



Функции распределения плотности модельных популяций сосновой пяденицы при различных значениях ГТК: 1 – (ГТК - 0.7); 2 – ГТК, 3 – (ГТК+1), 4 – (ГТК+2); критическая плотность  $L_r = 1.5$ .



Связь между значениями  $VaR$  и величиной сдвига  $S$  относительно значения ГТК для популяций сосновой пяденицы