

# **СМЕНА РЕЖИМОВ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ: НЕЛИНЕЙНАЯ РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

**Якушов Василий Дмитриевич, к.б.н.  
Шефтель Борис Ильич, к.б.н.  
ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН**



## Факторы, влияющие на динамику численности:

- Метеопараметры
- Хищники
- Паразиты
- Пищевые ресурсы
- Плотностно-зависимые процессы
- Миграции
- ...

**Подходы к моделированию**  
(Krebs, 2019. Population fluctuations in rodent)

Всё и сразу

Факторы  
по отдельности

## Современные классификации типов динамики:

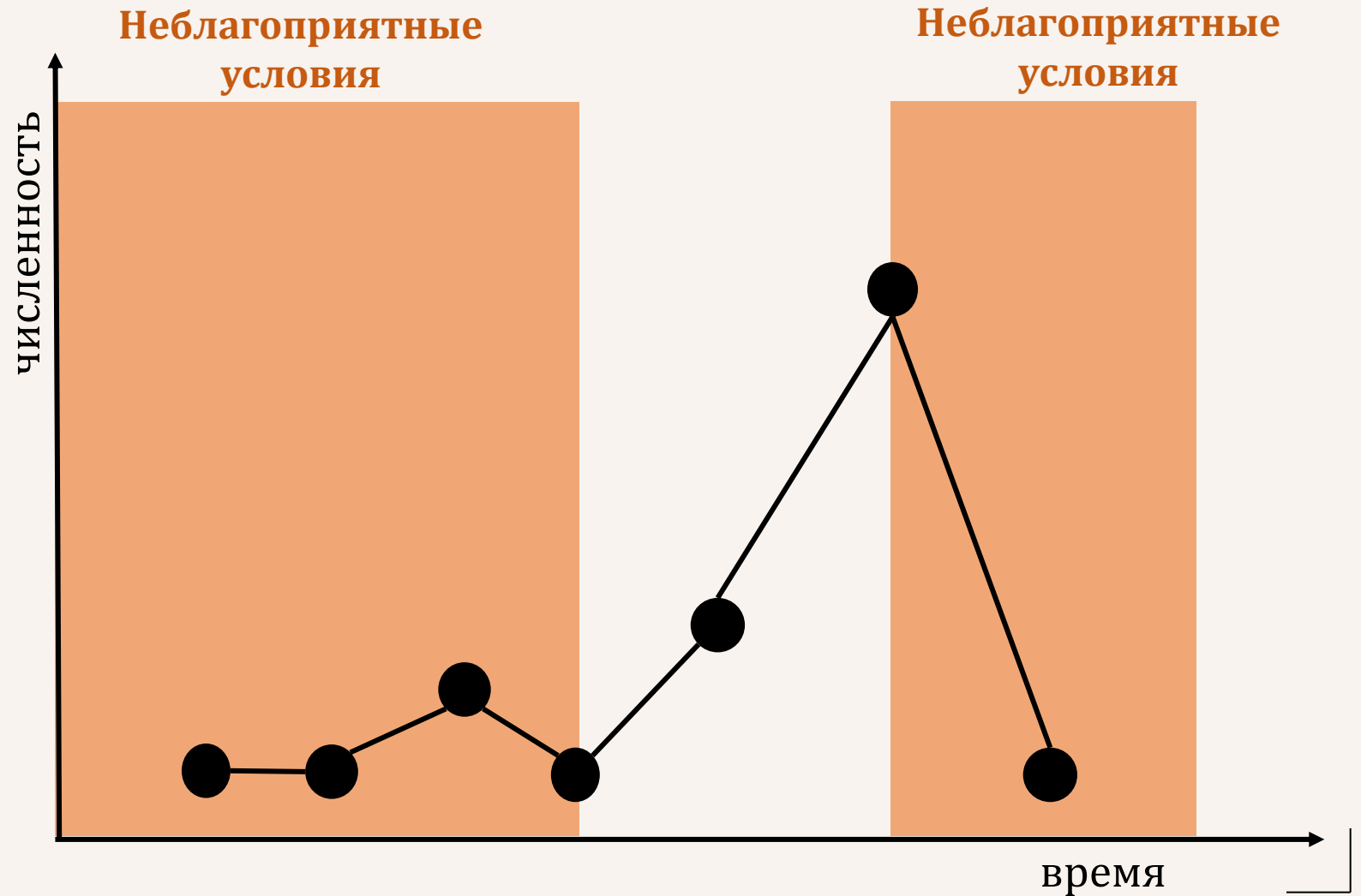
**Hansson, L. (2002)**

**Sheftel, B. I. (2010):**

- Циклический
- Флуктуационный
- Стабильный
- Депрессионный

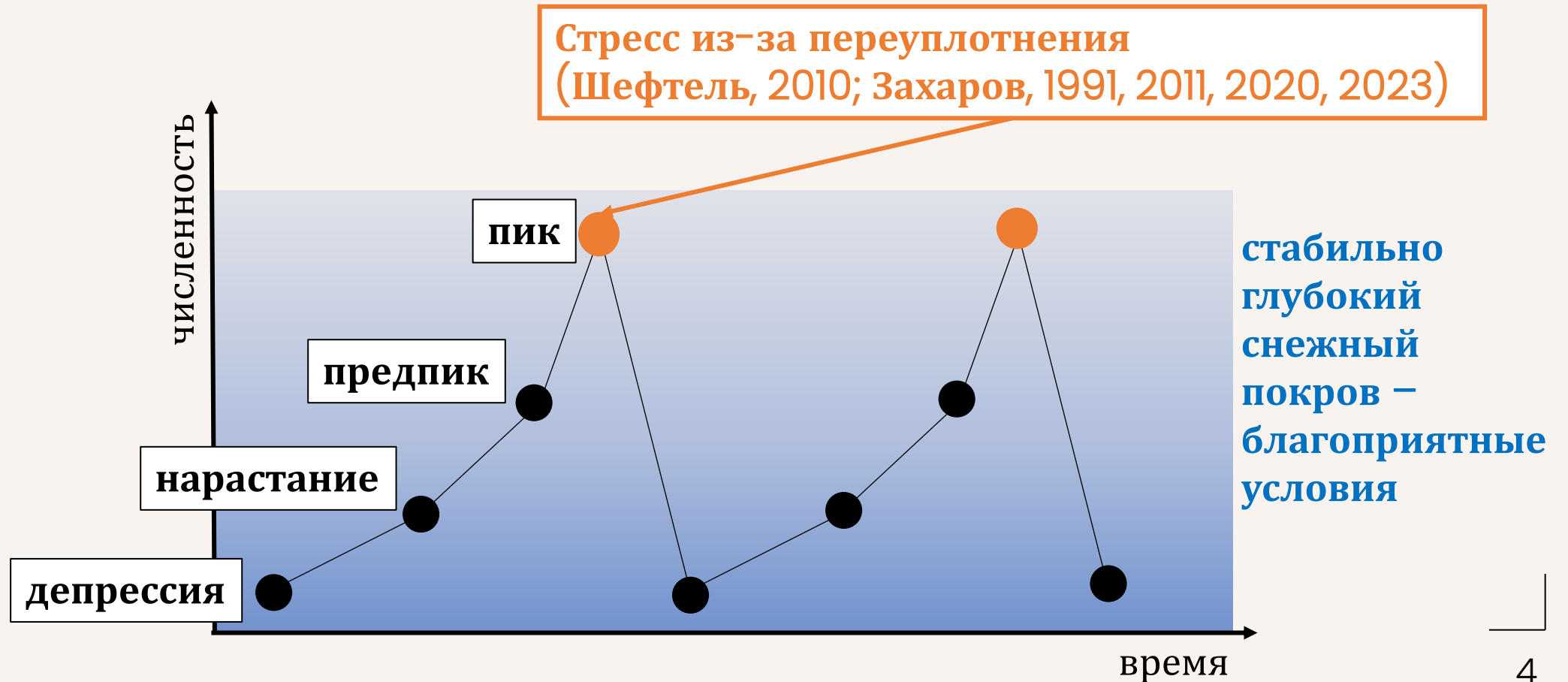
# Схема нециклических колебаний

Sheftel B. I., 2010.  
Role of different  
mechanisms in type  
determination  
of population dynamics  
for small mammals  
from boreal forestry zone



# Схема «классического» четырехлетнего цикла (Sheftel B. I., 2010)

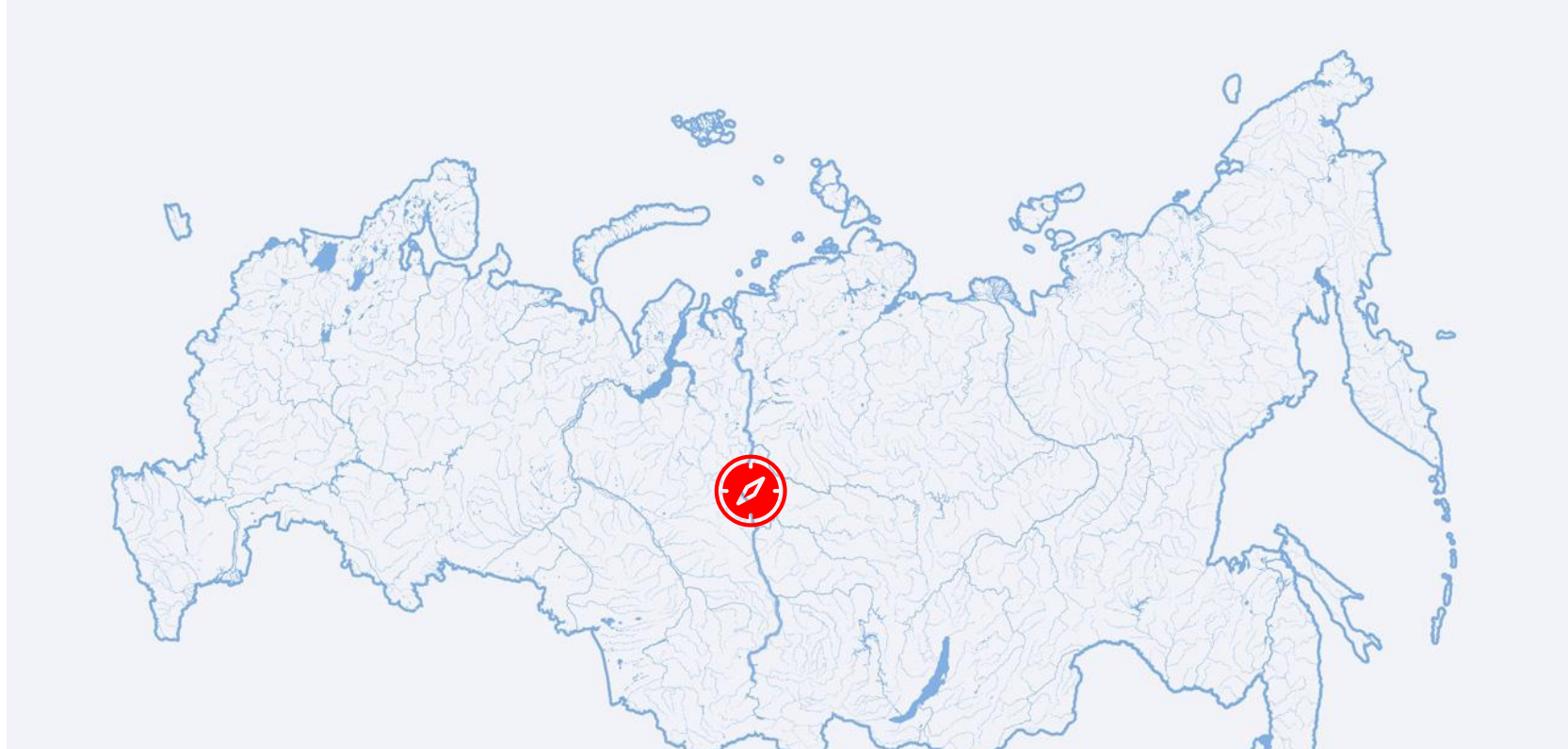
Регуляция – плотностно-зависимые процессы  
(Stenseth, 1999; Berryman, 2002; Krebs, 2019 и др.)



# География циклических колебаний мелких млекопитающих



# РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ



**Енисейская экологическая станция «Мирное» ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН**



# Динамика популяций: МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ТИПЫ ЛОВУШЕК (ВСЕГО 24 ШТ):

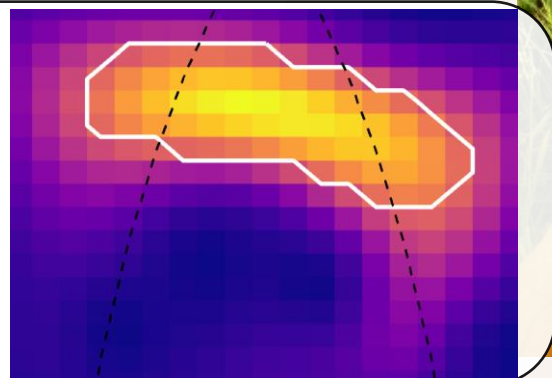
**Видовой  
состав**

Насекомоядные *10 видов*  
Грызуны *10 видов*

**Мониторинг**

- 1976-1994
- 2008-2023
- Отловы  
июнь и август

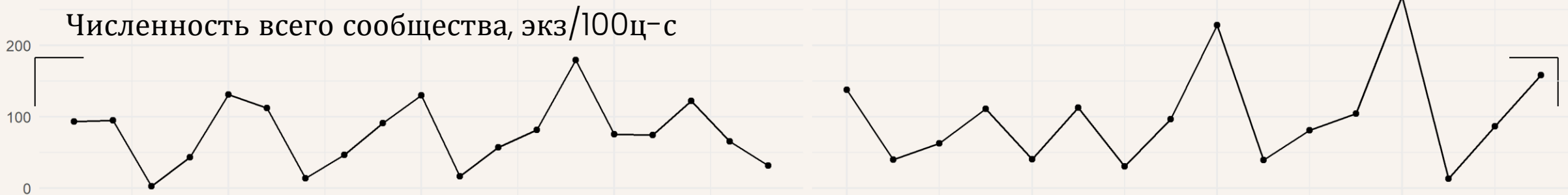
**Анализ**



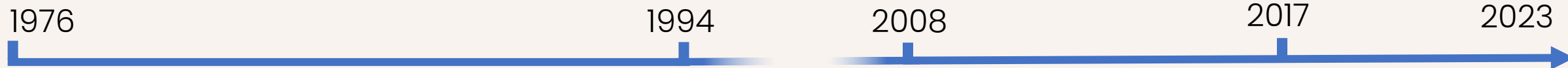
**ЗАБОРЧИК**



**ЛОВЧАЯ КАНАВКА**



## РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА



### Циклические колебания

- период = 4
- Синхронность на разных берегах
- Депрессии совпадали
- Другие стадии не всегда

Всё сообщество

*Sorex araneus*

*Sorex caecutiens*

*Sorex isodon*

*Clethrionomys rutilus*

*Microtus oeconomus*

*Sorex tundrensis*

*Sorex minutus*

*Clethrionomys rufocanus*

*Microtus agrestis*

Остальные виды – стабильно низкая численность с редкими нерегулярными всплесками



доминанты

субдоминанты

Циклика  
«сломалась»

Флуктуации

- периода нет
- иногда  
рассинхронизация

Восстановление  
популяционных  
циклов?

- период = 4
- синхронность

Все сообщество

*S. araneus*

*S. isodon*

*C. rutilus*

*M. oeconomus*

Yakushov V. D., Sheftel B. I.

Are population cycles recovering? //Integrative Zoology. – 2024. – V. 19. – №. 3. – P. 538-547.

# ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИНДИКАТОРОВ

1976

Циклические колебания

Асимметрия черепа  
в годы пика  
у обыкновенной  
бурозубки  
(Zakharov et al., 1991)

Различия в массе на разных стадиях  
(Якушов В. Д., Шефтель Б. И., 2020)

1994

Циклика  
«сломалась»

2008

Флуктуации

Эффекты  
не наблюдались

2017

Восстановление  
популяционных  
циклов?

Асимметрия черепа  
в годы пика  
у обыкновенной  
бурозубки  
(Zakharov et al., 2020,  
2023)

Изменение  
соотношения  
коркового слоя  
надпочечников  
к медулле  
(Kameneva et al.,  
2022)

2023

# ИТОГИ: СМЕНА РЕЖИМОВ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ

Анализ периодичности  
(Yakushov, Sheftel, 2024)

Изменения параметров  
при циклических колебаниях  
(Якушов, Шефтель, 2020;  
Zakharov et al., 1991, 2011, 2020, 2023;  
Kameneva et. al., 2022)

Сегментация временных рядов  
на **циклический (1)** и **нециклический (0)** этапы

I. «Восстановили» циклические колебания (сообщество в целом, *S. araneus*, *S. isodon*, *C. rutilus*, *M. oeconomus*)

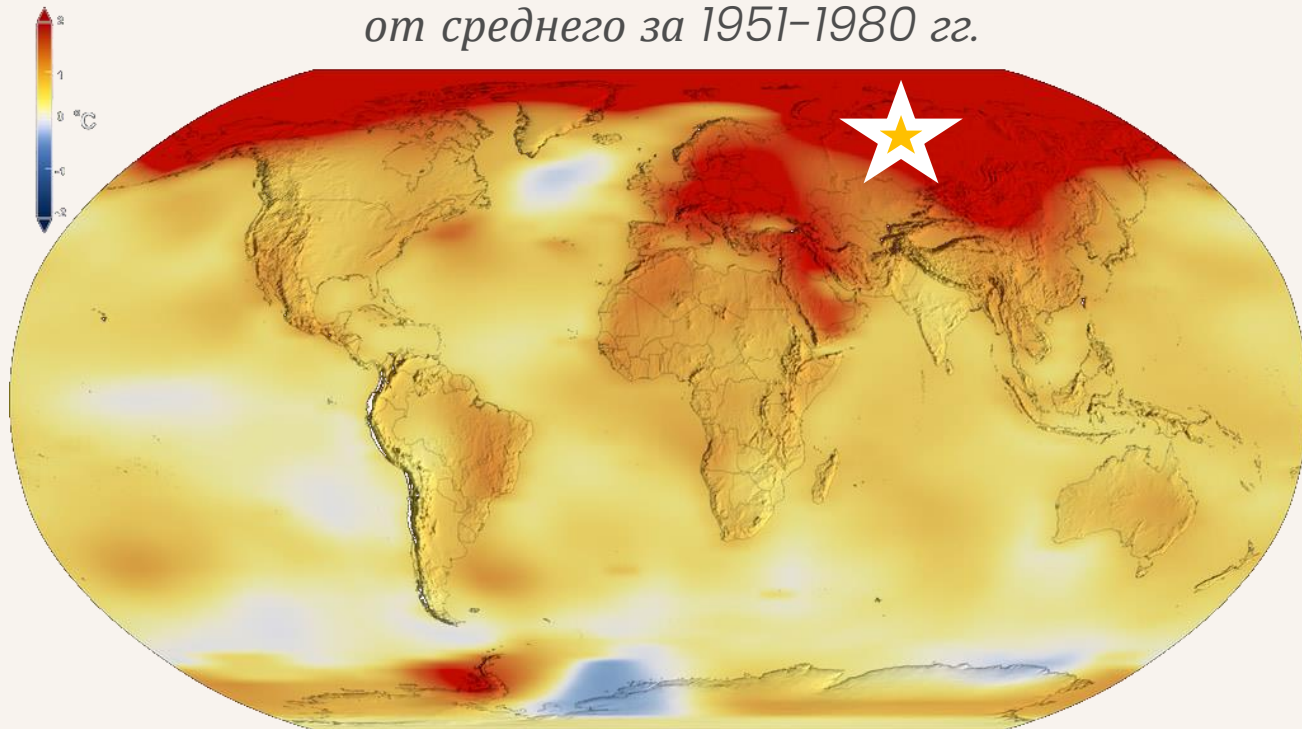


II. Не восстановили (*S. caecutiens*, *S. tundrensis*, *S. minutus*, *C. rufocanus*, *M. agrestis*)



# КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Отклонения температур (2017-2021)  
от среднего за 1951-1980 гг.



NASA's Scientific Visualization Studio  
<https://svs.gsfc.nasa.gov/4964>

## Проанализированные параметры (1961-2023):

- Температура
- Глубина снежного покрова
- Сумма осадков

Енисейская  
экологическая  
станция  
ИПЭЭ РАН

Верхнеимбатск

Бахта

Бор

Ворогово

Ярцево

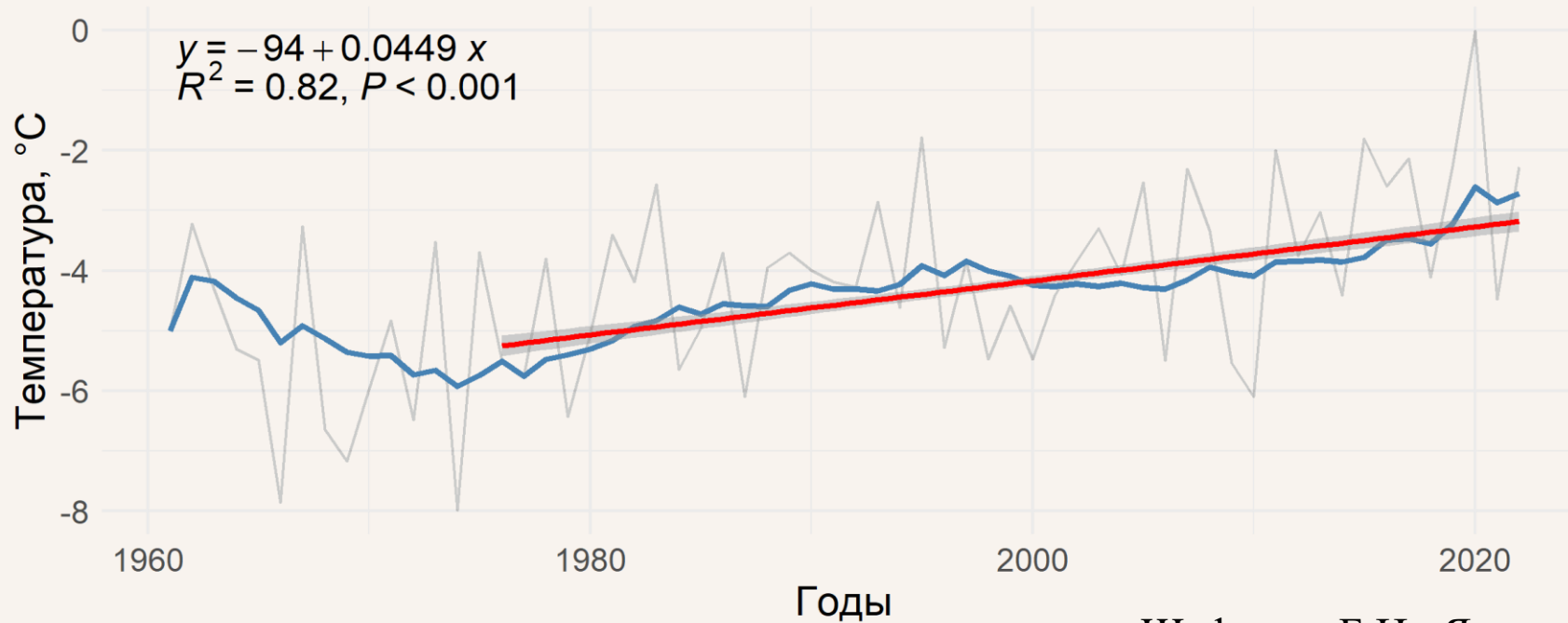
Игарка

Туруханск

р. Нижняя Тунгуска

# КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Пространственно-осредненные среднегодовые температуры воздуха



- Среднегодовые температуры,
- Сглаженные скользящим средним
- **Линейный тренд 1976-2023**

$\Delta t$

В среднем  $\approx 2.3$  °C

Март  $\approx 3.9$  °C

Апрель  $\approx 4.7$  °C

Май  $\approx 2.6$  °C

Шефтель, Б.И., Якушов, В.Д.

Влияние потепления климата на наземные виды  
средней енисейской тайги //


Сибирский экологический журнал.


– 2022. – Т. 1. – С. 1-12.

# СВЯЗЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ДИНАМИКИ

Предикторы (12 шт):

 Снежный покров: среднесезонная глубина и качественные характеристики

 Количество переходов среднесуточных температур через  $0^{\circ}\text{C}$

 Продолжительность «весны» и «осени», выделенных по переходу среднесуточных температур через  $0^{\circ}\text{C}$

 Среднесезонные температуры

Эффект «морозных качелей»

# СВЯЗЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ДИНАМИКИ

GLM, DHARMA-диагностика моделей

**Зимняя смертность ~ режим динамики  $x$  (PC1 + PC2 + PC3 + PC4)**

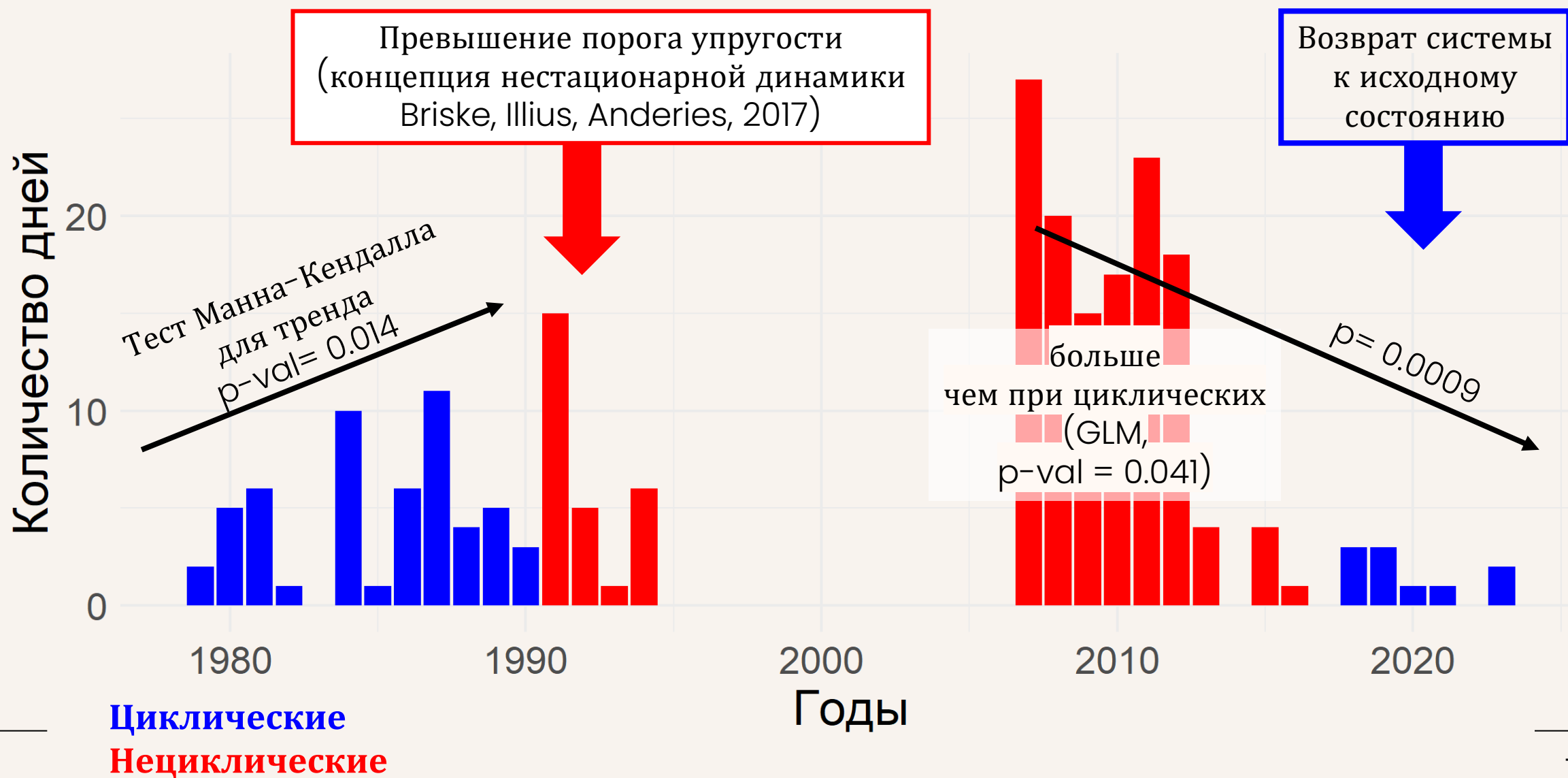
Предиктор	Коэффициент	p-value	
Режим динамики	0.485	0.210	
PC1	-0.053	0.733	общеклиматические тренды
PC2	0.152	0.444	
PC3	0.575	0.047	
PC4	0.078	0.790	оттаивания-замерзания (осень)

# ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕЖИМ ДИНАМИКИ

Лассо-регрессия: режим динамики ~ климатические предикторы  
Bootstrap для оценки устойчивости отбора предикторов (1000 итераций)  
Значимые предикторы:

Предиктор	Ср. коэфф	2.5%	97.5%	Частота отбора (Bootstrap)
Т <sub>ср</sub> (весна)	-0.269	-0.725	0.000	0.849
Кол-во неблагоприятных дней	-0.193	-0.551	0.000	0.804
Продолжительность весны	-0.042	-0.307	0.000	0.310

# Количество дней с неблагоприятным снежным покровом



# С чем связаны неблагоприятные условия?

GLM

(логистическая регрессия)

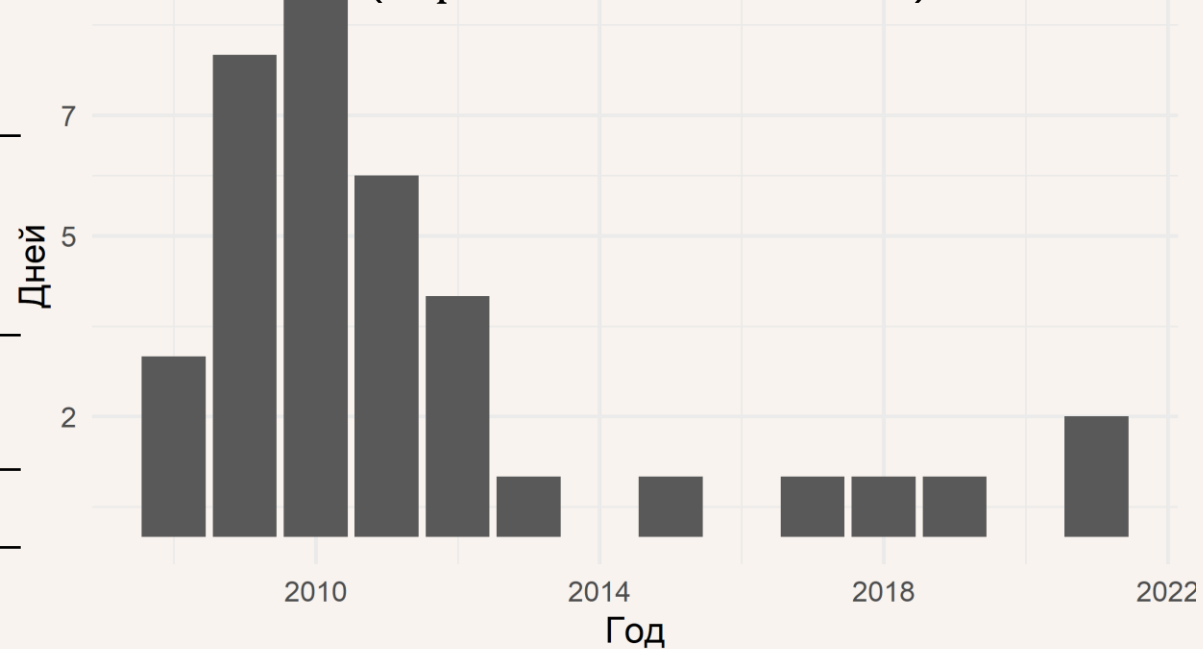
Зависимая переменная:

1 – неблагоприятные условия

0 – благоприятные условия

Предиктор	Коэффициент регрессии		P-value
	1976-1994	2008-2023	
Глубина снега	-0.3	-0.09	<0.0001
Тср.сут.	0.32	-0.04	<0.0001
Кол-во оттаиваний-замерзаний в сутки	-	1.26	<0.0001

Количество дней, когда количество оттаиваний-замерзаний в сутки > 1 (апрель-май 2008-2023)



## Литературные данные

### Нарушение циклических колебаний

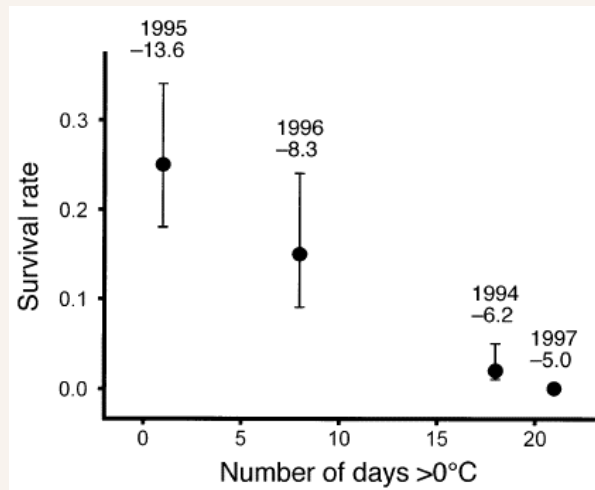
Ims et al., 2008

Cornulier T. et al., 2013

...

Aars and Ims, 2002

«Неблагоприятные воздействия могут привести к нарушению циклической динамики»



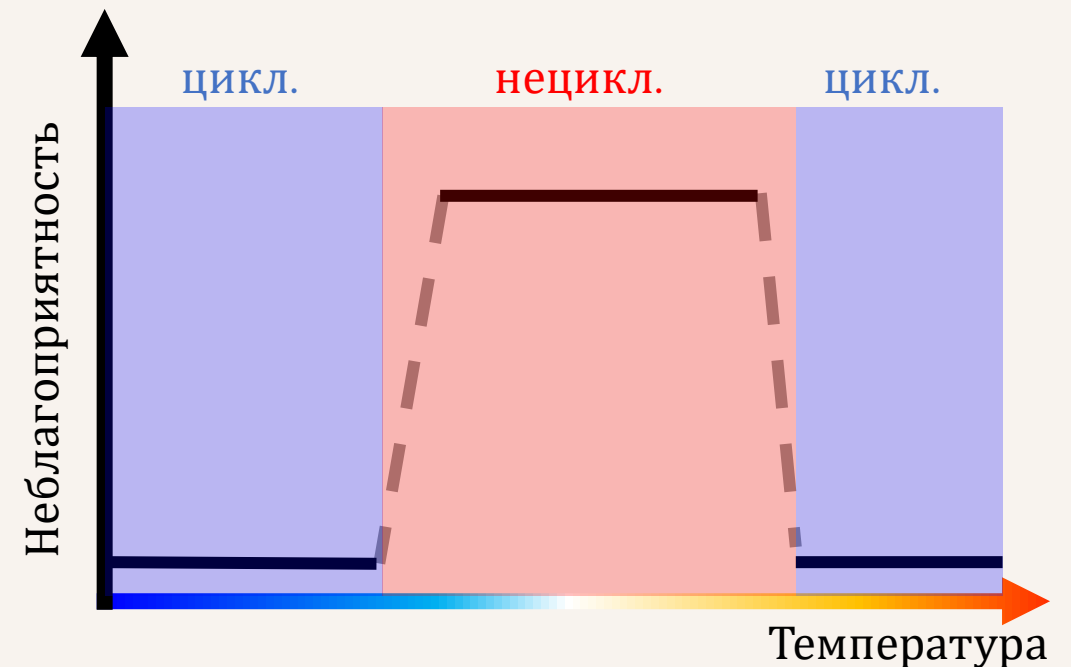
### Восстановление циклических колебаний и «опровержение» влияния климата

Brommer J. E. et al., 2010

Korpela K. et al., 2013

## Что нового?

- ✓ Использовали комплексный параметр
- ✓ Сосредоточились на весне-осени
- ✓ Показали нелинейность влияния



СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!

