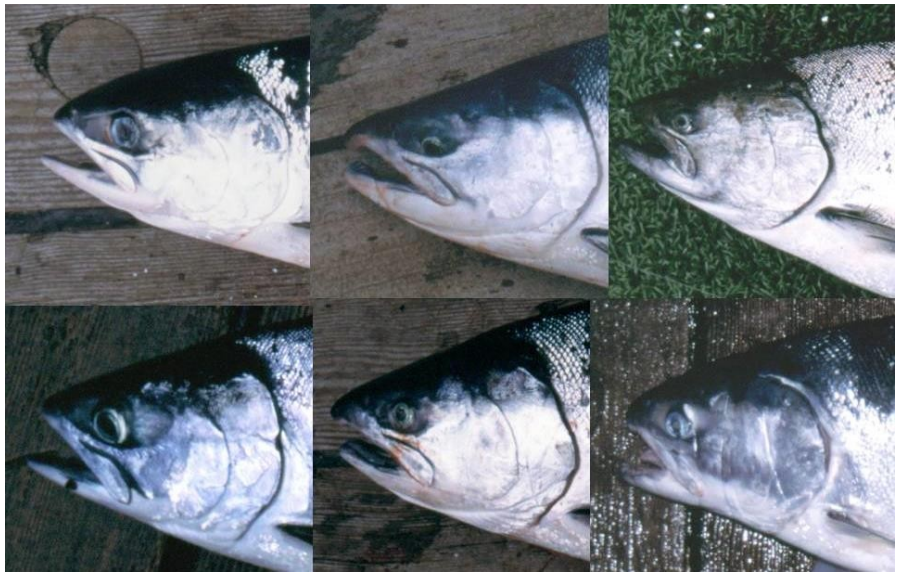
Исследования о сохранении тихоокеанских лососей: Основные принципы, мифы, и первые результаты
AFS и Общество диких животных 2019 Совместная ежегодная конференция
1 октября, 2019 г., Рино, Невада, США

Ёмкость океанической среды и биологические взаимодействия тихоокеанских лососей в открытом море



Масахидэ Каэрияма
Центр арктических исследований, Университет Хоккайдо
salmon@fish.hokudai.ac.jp

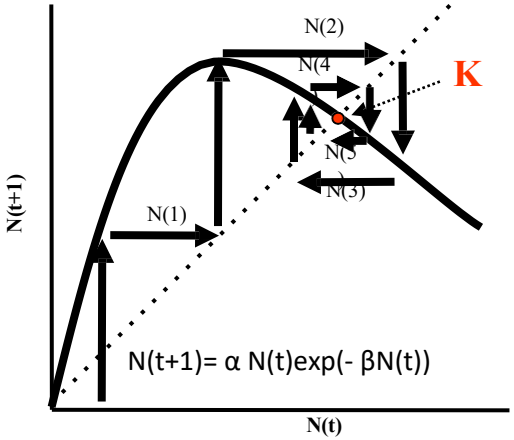
Задачи

- Оценить ёмкость среды, а также внутривидовые и межвидовые взаимодействия тихоокеанских лососей в контексте потепления климата и с целью определения принципов устойчивого управления ими

Материалы и методы

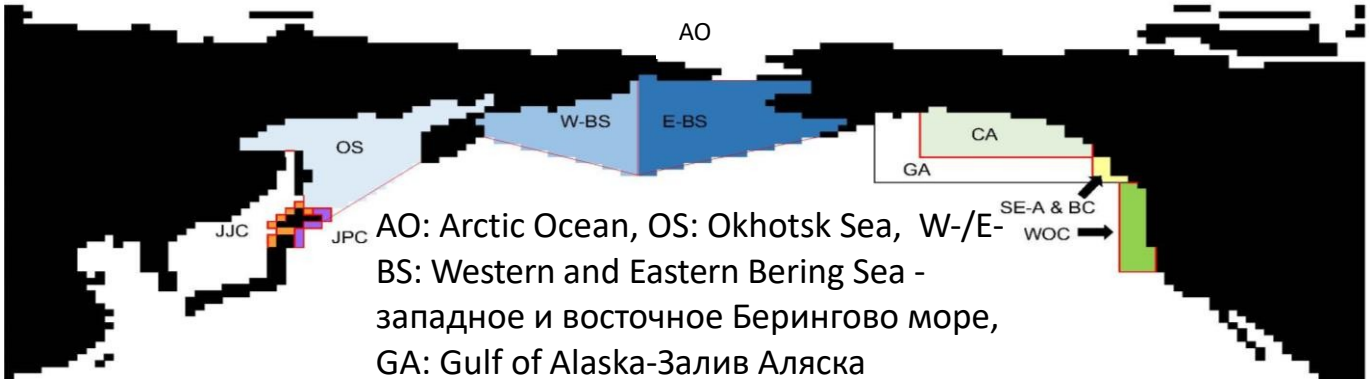
- Температура поверхности воды (SST): **база данных COBE-SST** Японского метеорологического ведомства (1º × 1º, 1920-2018)
- Данные о вылове тихоокеанских лососей1925-2018: **NPAFC Статистика вылова лососёвых**
- Ёмкость среды (K): **точка восполнения на кривой Рикера**

  (1 годовой класс = 20 популяций одного года выклева)
- Рост: **метод обратного подсчёта по чешуе**
- Трофический уровень: **анализ стабильных изотопов**
- Внутри- и межвидовые взаимодействия : **уравнение Лотки-Вольтерра**

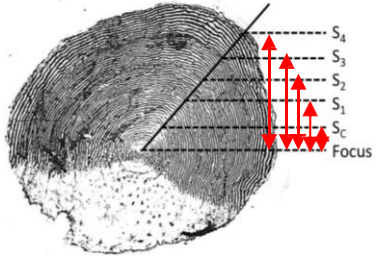


Параметры для кеты

- **Адаптивная температура (AT):** 5-7 ºC
- **Оптимальная температура (OT):** 8-12 ºC
- **Период нахождения**: период в адаптивной и оптимальной температурной среде в прибрежных водах Японии



AO: Arctic Ocean, OS: Okhotsk Sea, W-/E-BS: Western and Eastern Bering Sea - западное и восточное Берингово море, GA: Gulf of Alaska-Залив Аляска

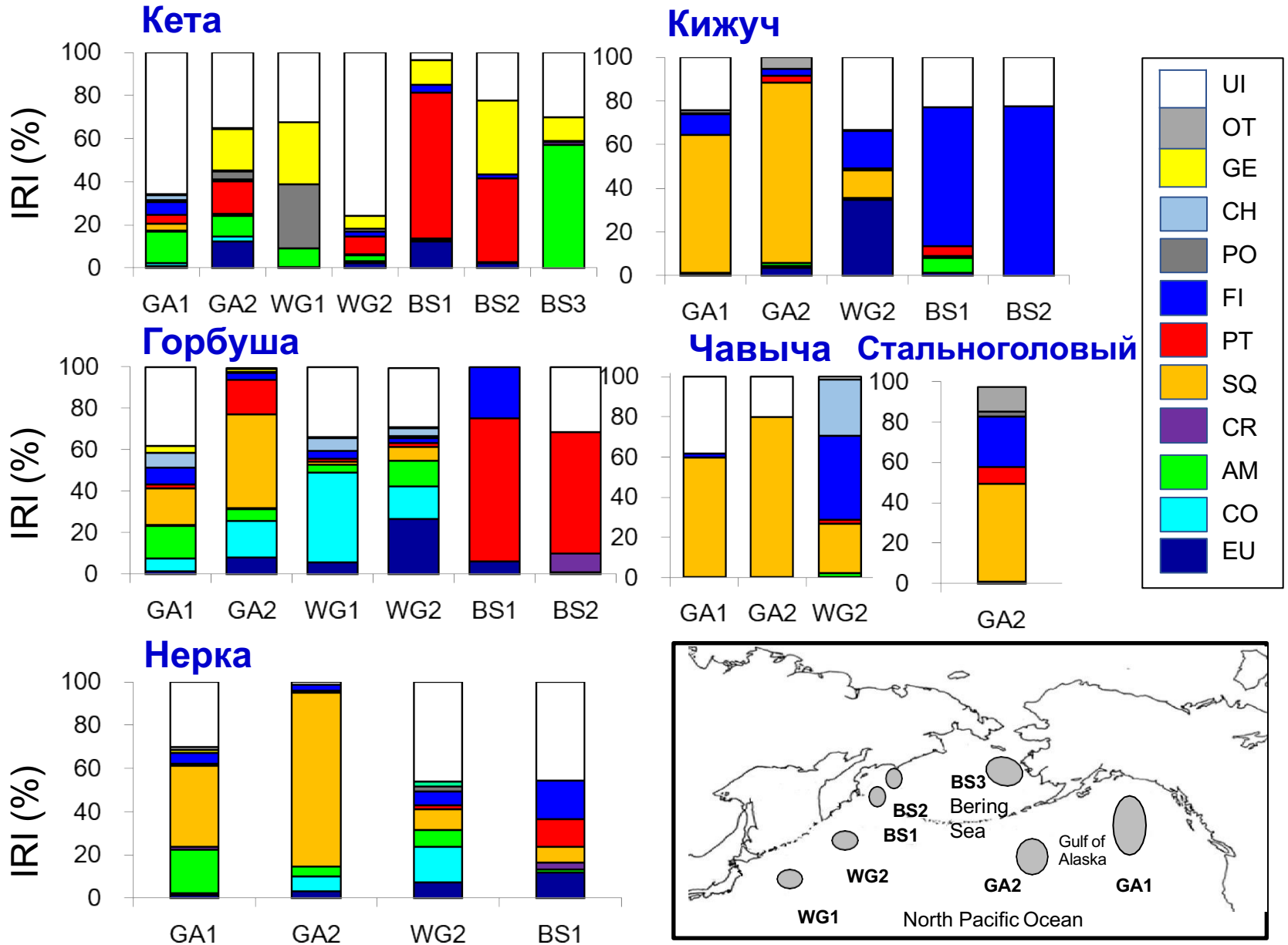


$L_i = FL - (TS-S_i)/(TS-114) \times (FL-4)$

FL: fork length, TS: ΣS_i, (Seo et al. 2011)

Kaeriyama (2019)

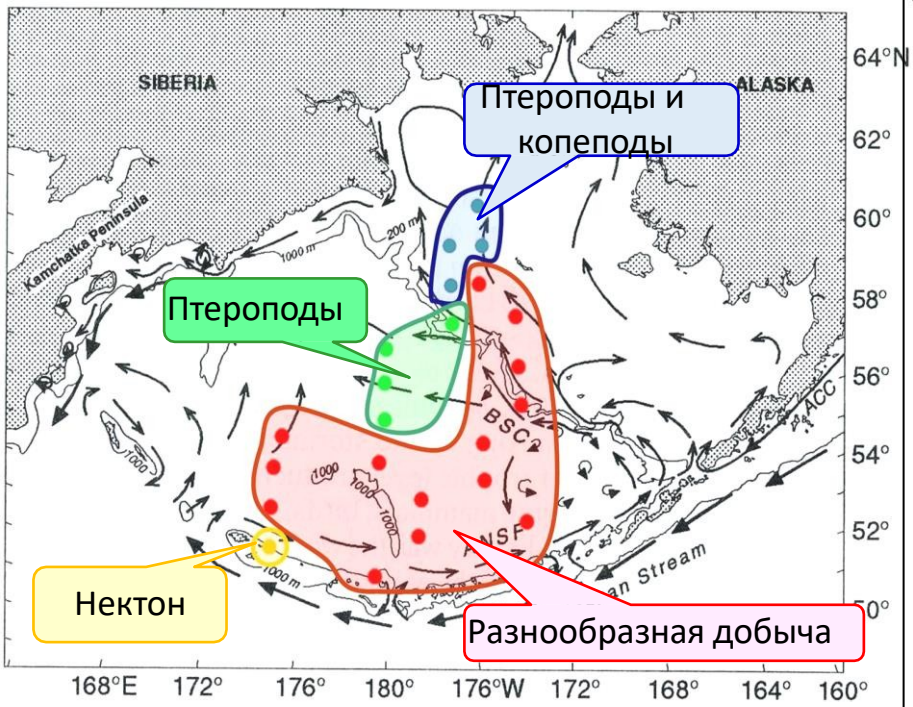
Схема нагула тихоокеанских лососей в экосистемах Северной Пацифики в летнее время 1994-2008 (Qin and Kaeriyama 2016)

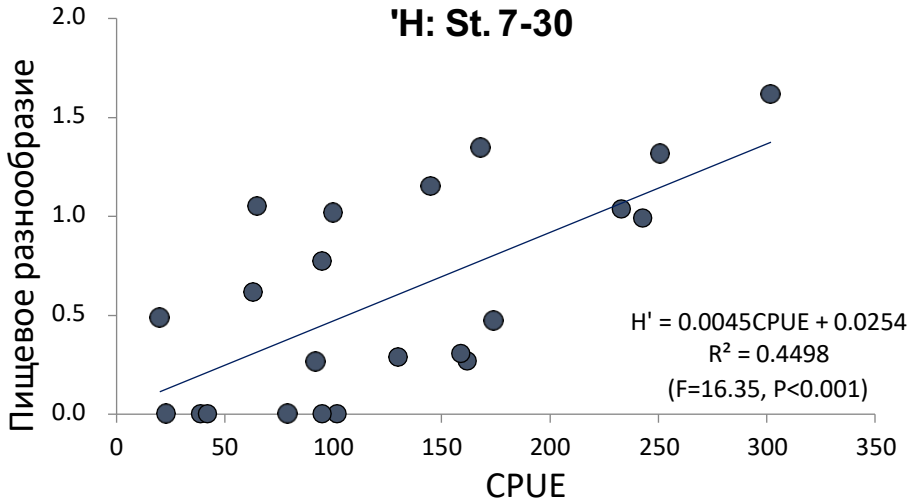


Kaeriyama (2019)

Пищевое поведение кеты (Берингово море, 2009)

(Kaeriyama et al. 2012)



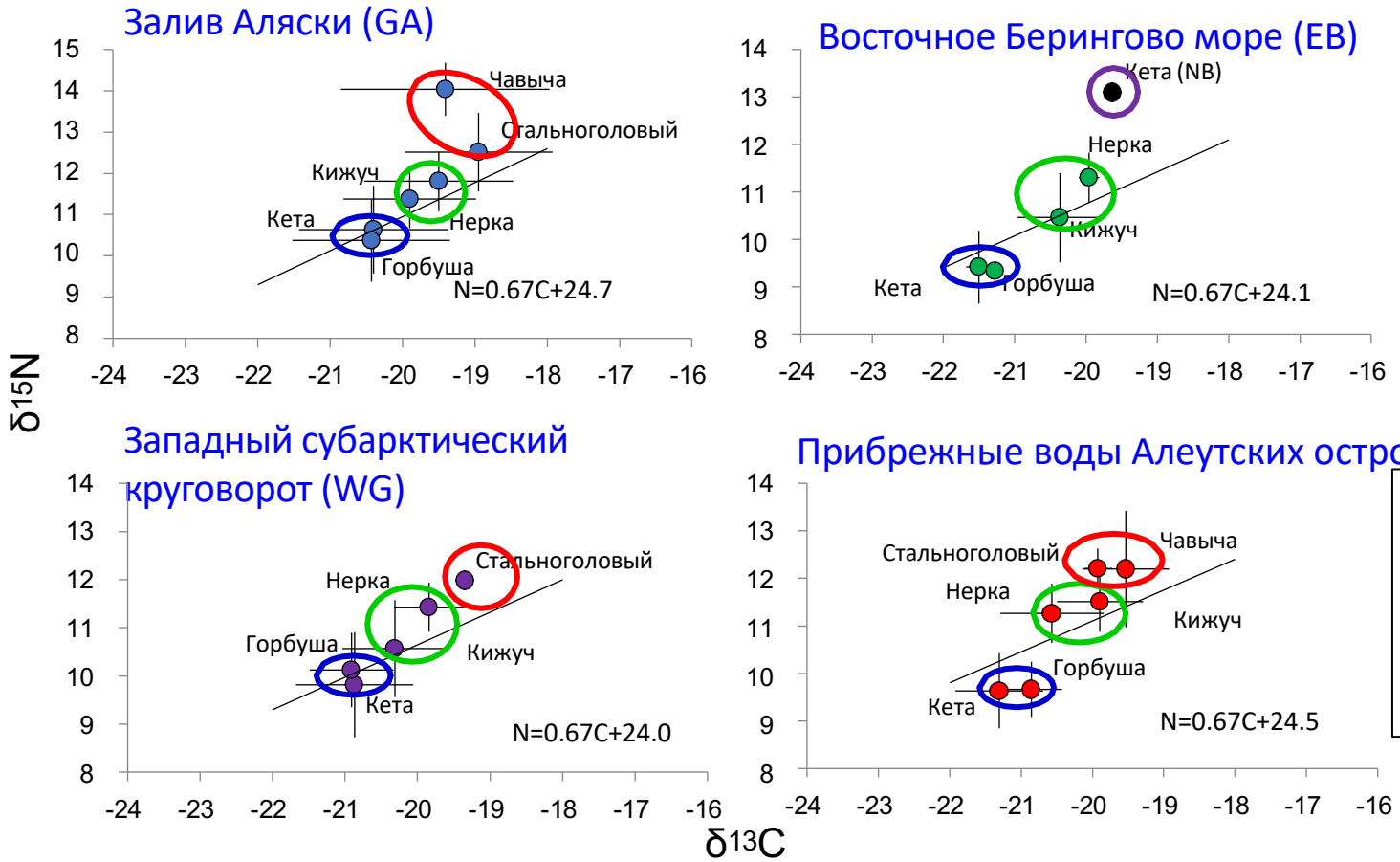


- Только кета приспособилась к поеданию <u>желеобразных зоопланктонов</u> из-за широкого диаметра пищевода (Welch 1997), высокой концентрации желудочной кислоты (Azuma 1992), и больших пилорических придатков (Kaeriyama & Urawa 1990)
- Её кормовое разнообразие росло по мере увеличения плотности популяции (CPUE)
- Кета сменила кормовую базу в ответ на конкуренцию с горбушей (Tadokoro et al. 1996)

Внутри- и межвидовые взаимодействия: Кета избегает конкуренции с тихоокеанскими лососями без принципа конкурентного исключения.

Kaeriyama (2019)

Среднее и SD (среднеквадратическое отклонение) в $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ тихоокеанских лососей в Северной Пацифике и Беринговом море (Qin and Kaeriyama 2016)



ANCOVA (GLM)

$\delta^{13}C \times Area$ F=2.283, P=0.079

Нет взаимодействия

Уклон 0.67

t=15.733, P<0.001

Пересечение 24.0±0.28

Тихоокеанские лососи $\delta^{15}N$: 1. Чавыча и стальноголовый, 2. Нерка и кижуч, 3. Кета и горбуша

Исключение: у кеты зафиксировано более высокое содержание стабильных изотопов в районе острова Св. Лаврентия, где пищевая ценность выше благодаря сильному апвеллингу и большему содержанию в воде питательных веществ

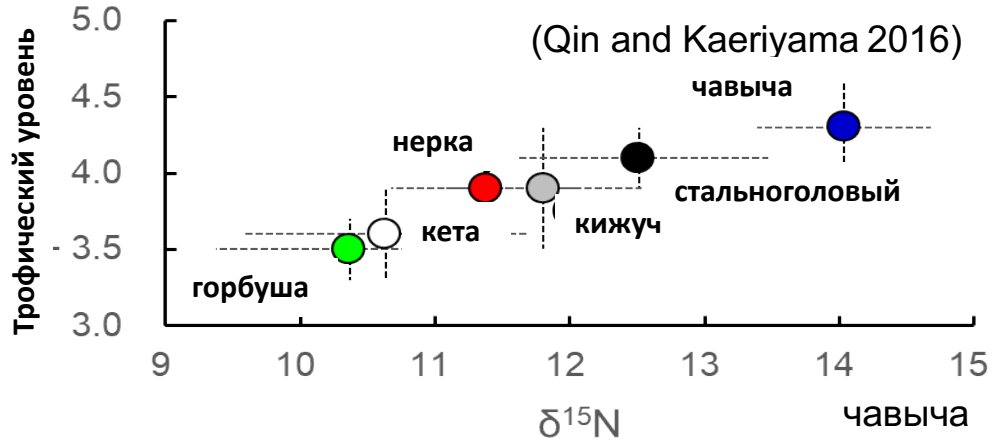
Kaeriyama (2019)

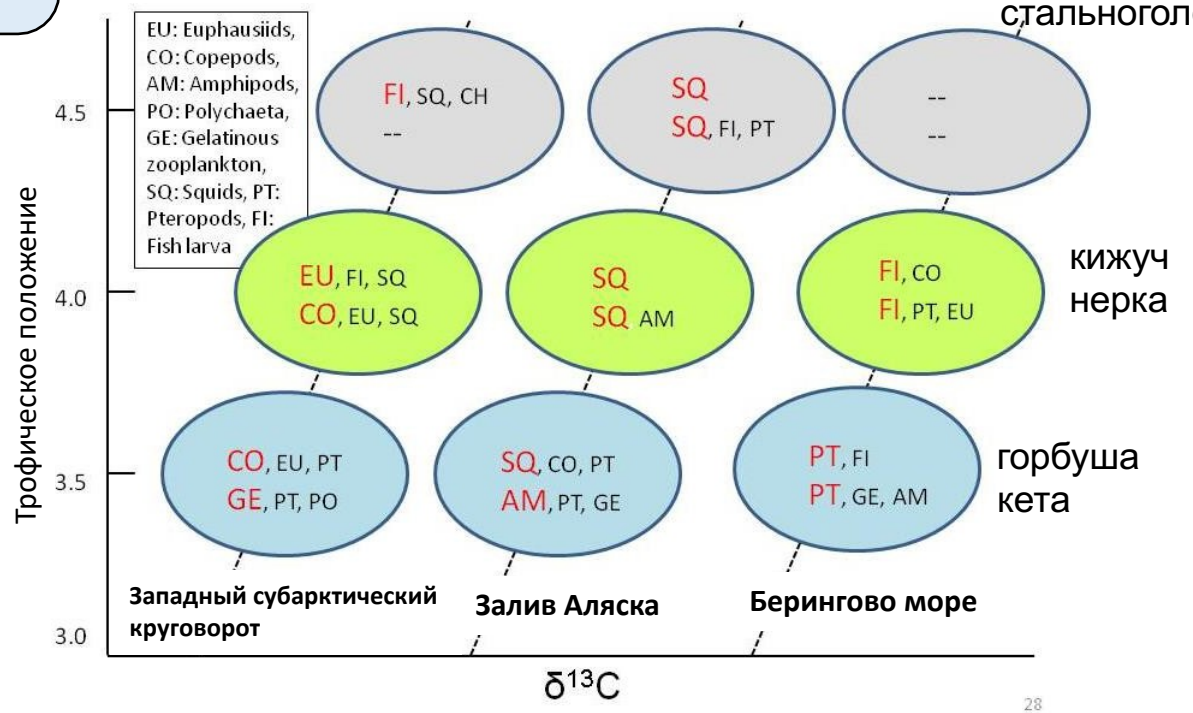
Схема изменений во времени и местах кормления тихоокеанских лососей в экосистемах Северной Пацифики

Общие условия и функции схемы кормления тихоокеанских лососей

Трофический уровень и структура экосистемы северной части Тихого океана

Видовая специфичность и пластичность

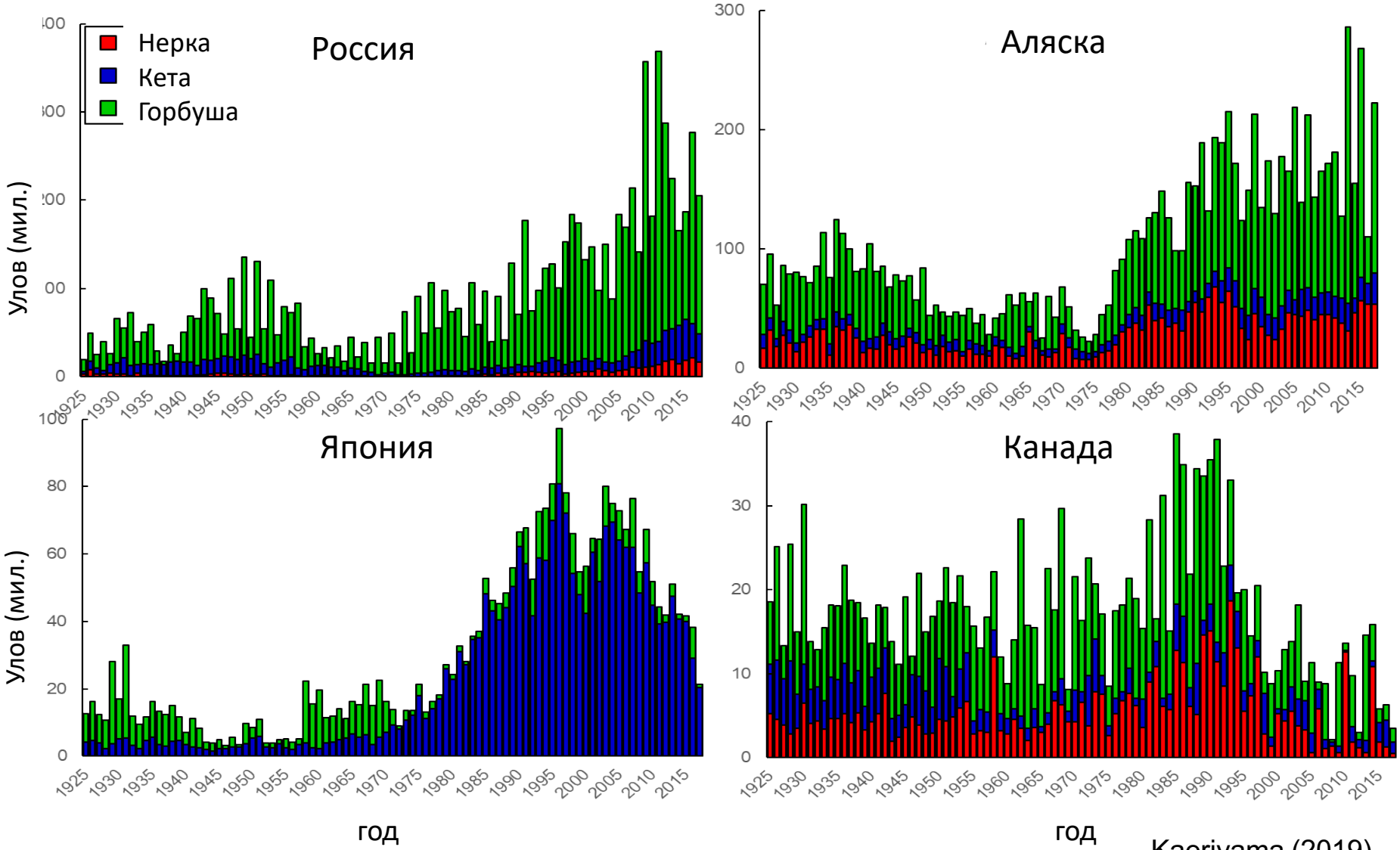




Kaeriyama (2019)

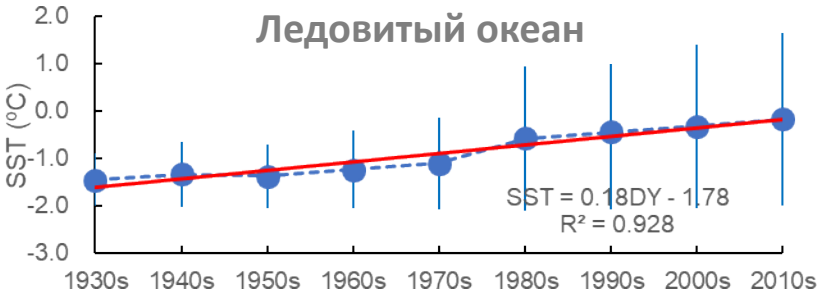
Годовые изменения в уловах горбуши, кеты и нерки за 1925-2017

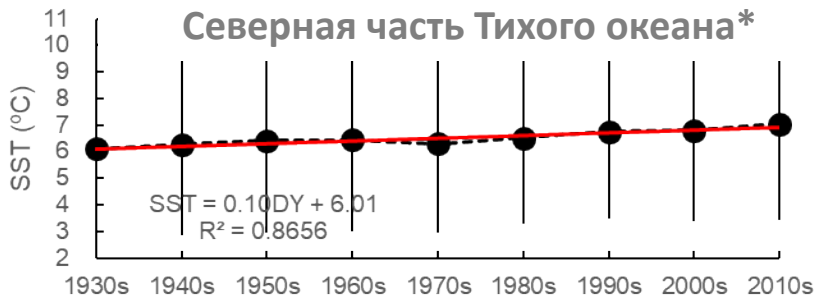
- Южные популяции: снижение
- Северные популяции: увеличение или стабильно высокие



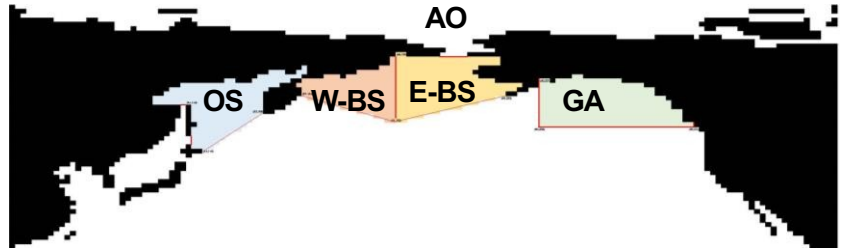
Kaeriyama (2019)

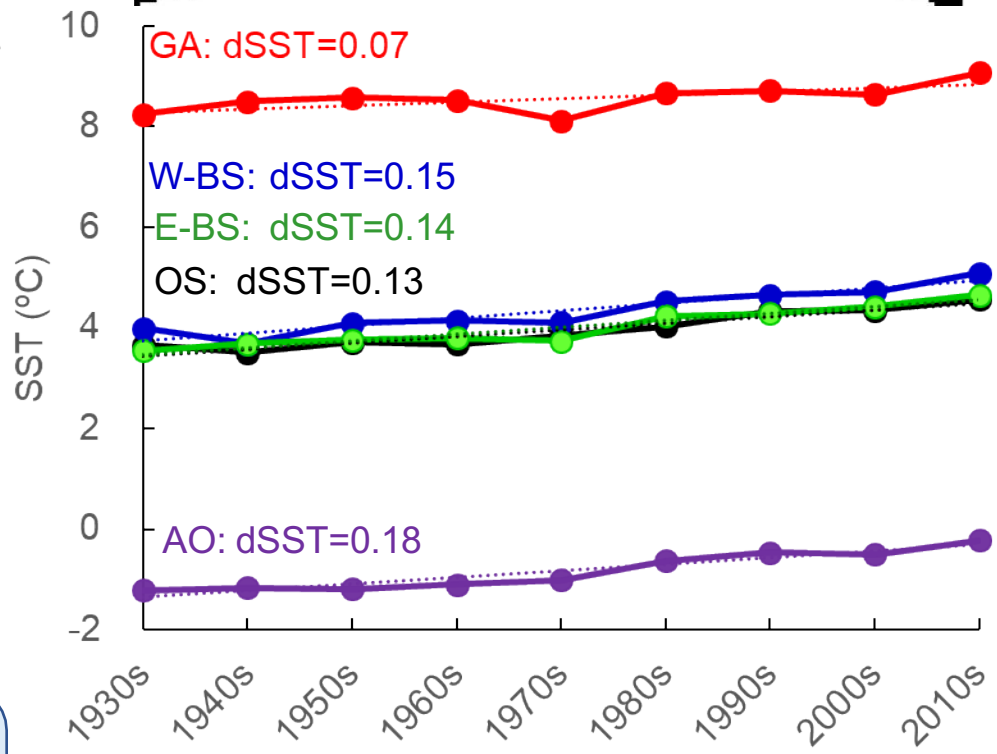
Изменения декадных средних температур SST (dSST) в Северной Пацифике и Ледовитом океане





* Севернее 40 ° N





Подъём dSST (℃)

Ледовитый океан: 0.18

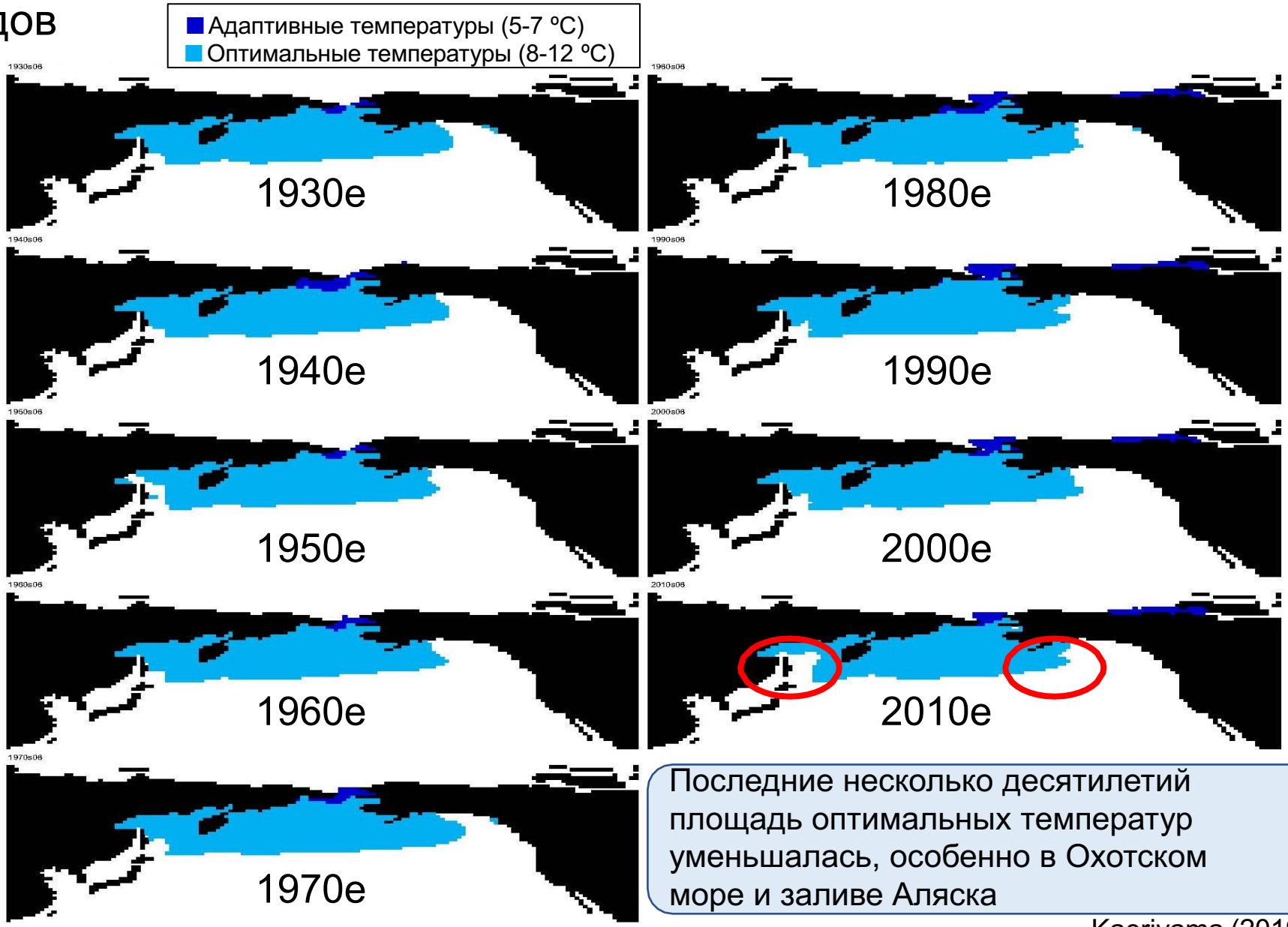
Северная Пацифика: 0.10

- SST увеличилась на 1.0 ºC за сто лет в северной части Тихого океана.
- dSST выше в северных экосистемах по сравнению с южными.

AO: Ледовитый океан, OS: Охотское море, GA: Залив Аляска, W-BS: западное Берингово море, E-BS: Восточное Берингово море

Kaeriyama (2019)

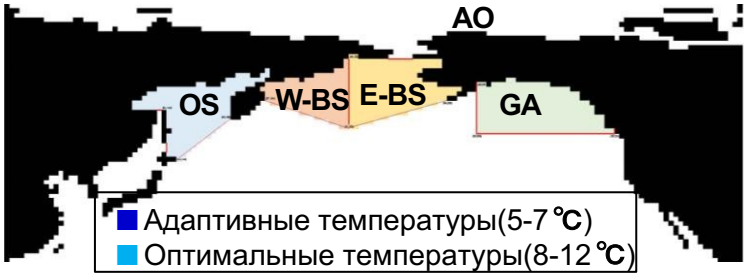
Изменения площади распределения адаптивных и оптимальных температур для кеты в августе с 1930-х до 2010-х годов

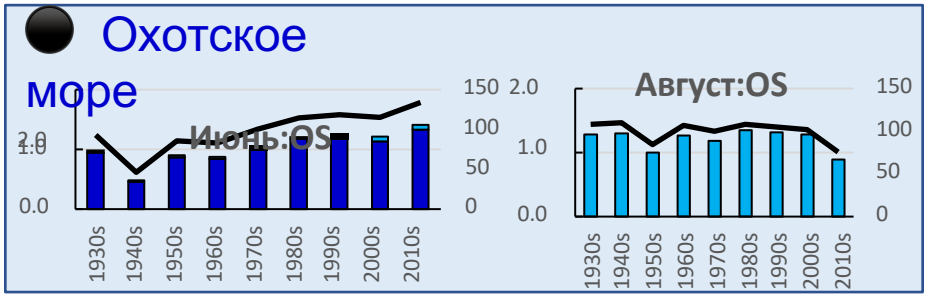


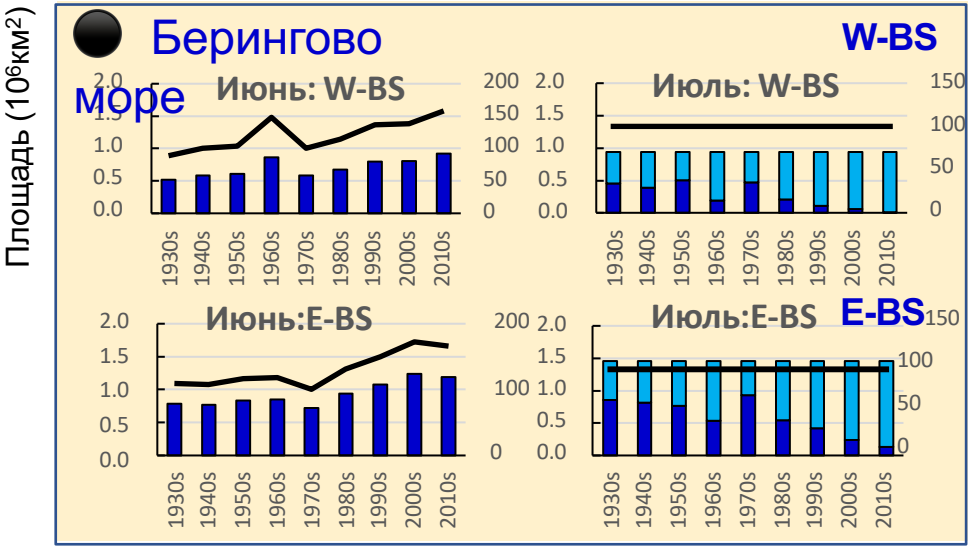
Последние несколько десятилетий площадь оптимальных температур уменьшалась, особенно в Охотском море и заливе Аляска

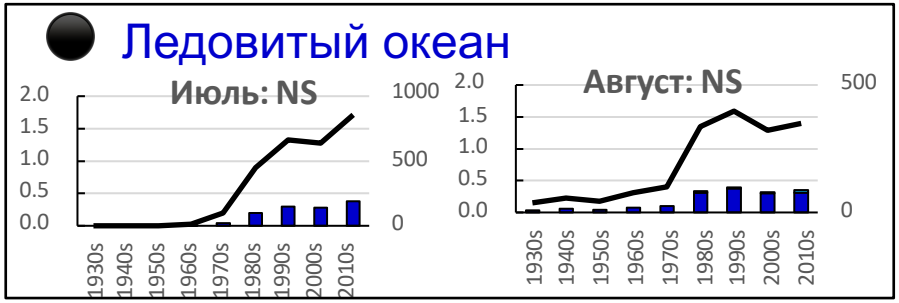
Kaeriyama (2019)

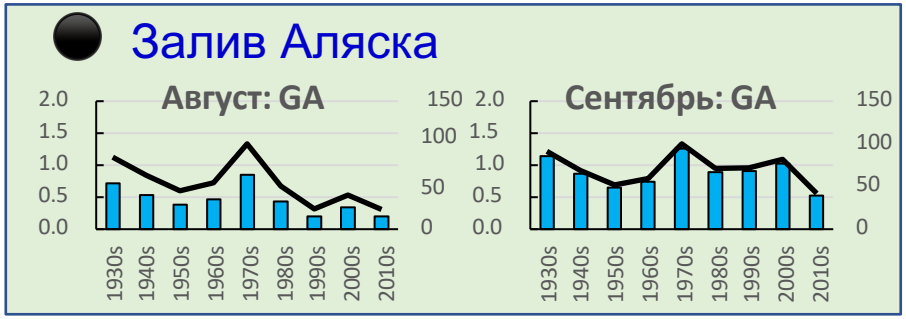
Изменения площади распределения адаптивных и оптимальных температур для кеты с1930-х по 2010-е годы











Начиная с 2000х годов, Охотское и Берингово моря являются благоприятными экосистемами в плане выживаемости и ёмкости среды для кеты

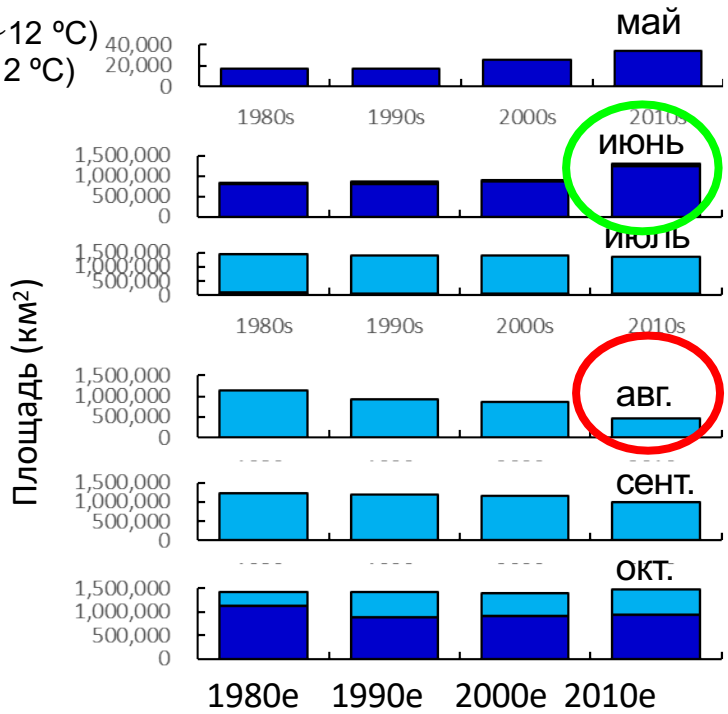
Kaeriyama (2019)

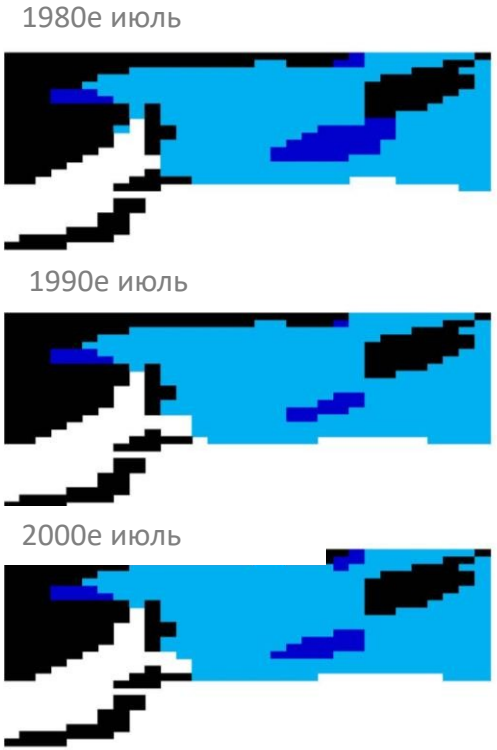
Изменения площади адаптивных (АА) и оптимальных (АО) температур в июле в Охотском море

■ Площадь оптимальных температур (8～12 ºC)
■ Площадь адаптивных температур (5～12 ºC)

В 2010-е годы ареал с оптимальными температурами тихонько отделился от острова Хоккайдо

Это указывает на то, что молоди японской кеты будет трудно мигрировать в Охотское море в июле





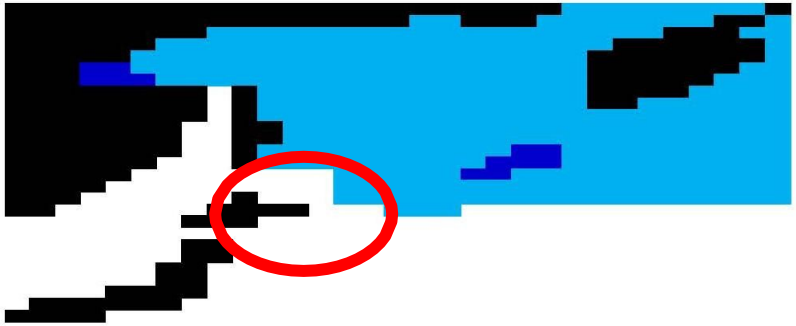
Июньские АА: повышаются с 2000-х

→ **это повышает уровень выживаемости у российской молоди кеты и горбуши**

Ареал с температурами АО в августе наполовину уменьшился с 2010-х

→ **в силу вступает снижение ёмкости среды Охотского моря для тихоокеанских лососей**

2010-е июль

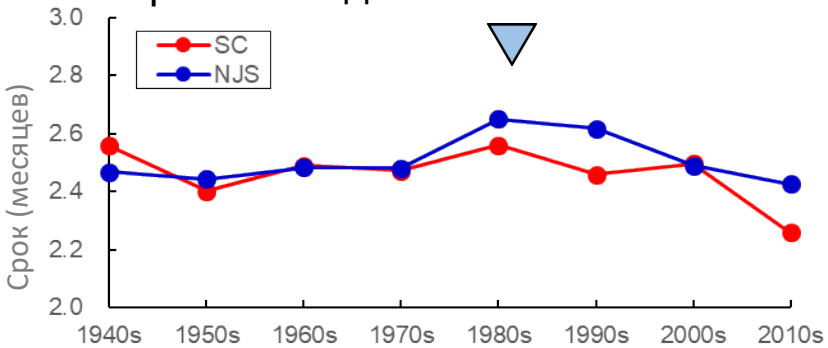


Kaeriyama (2019)

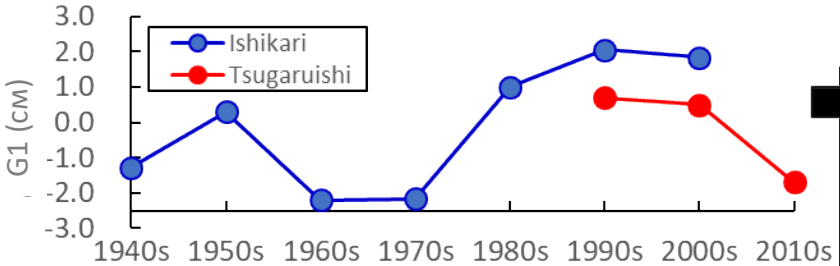
Соотношение роста в возрасте-1 (G1) и коэффициента выживаемости кеты идущей в реки Исикари и Цугаруиши

Хоккайдо, Санрику

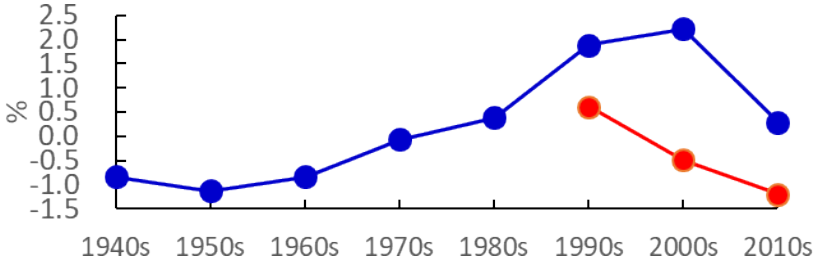
○ Срок нахождения



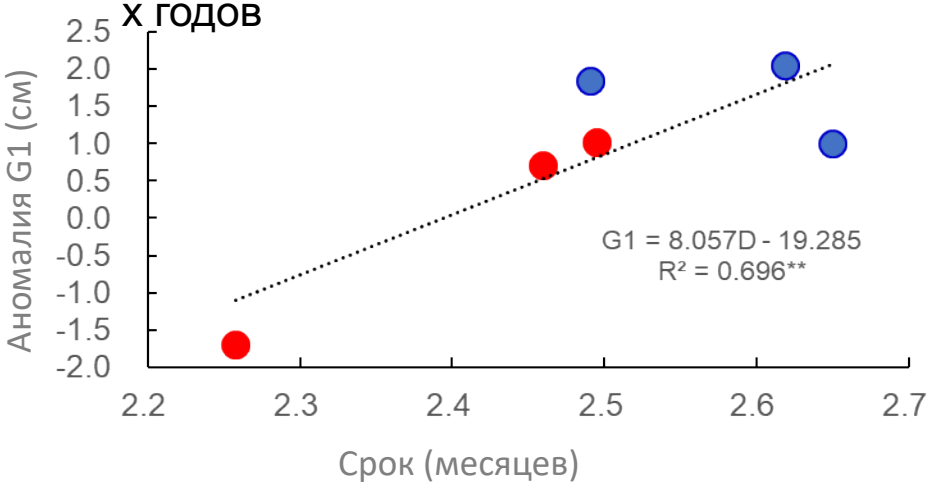
○ Аномалия G1



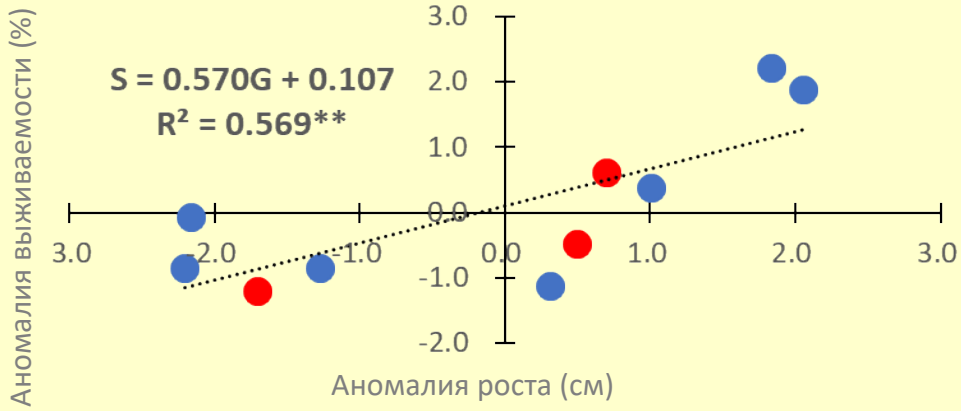
○ Аномалия выживаемости



■ Соотношение между сроком нахождения и аномалией G1 с 1980-х годов

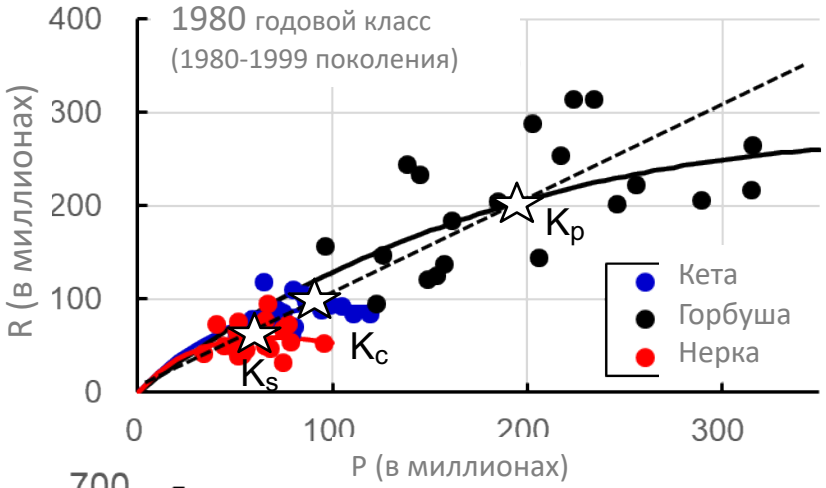


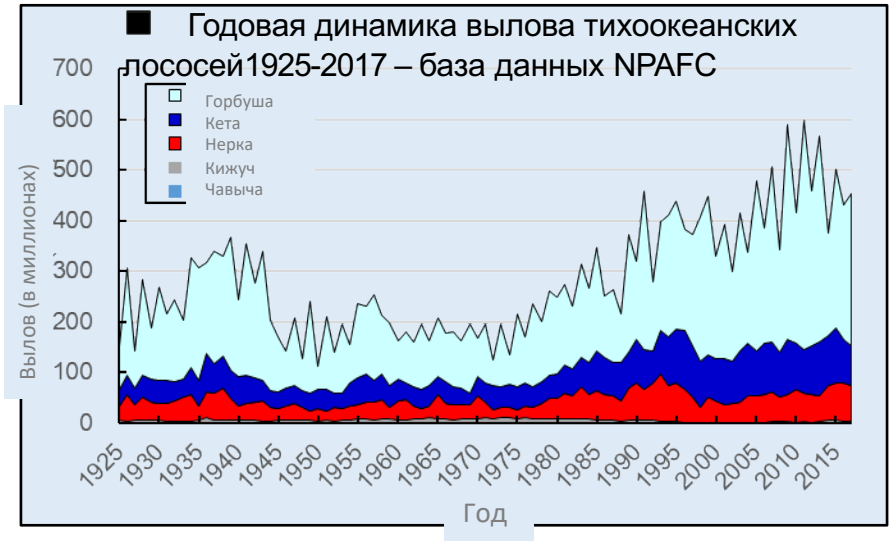
■ Соотношение между Ростом и Выживаемостью

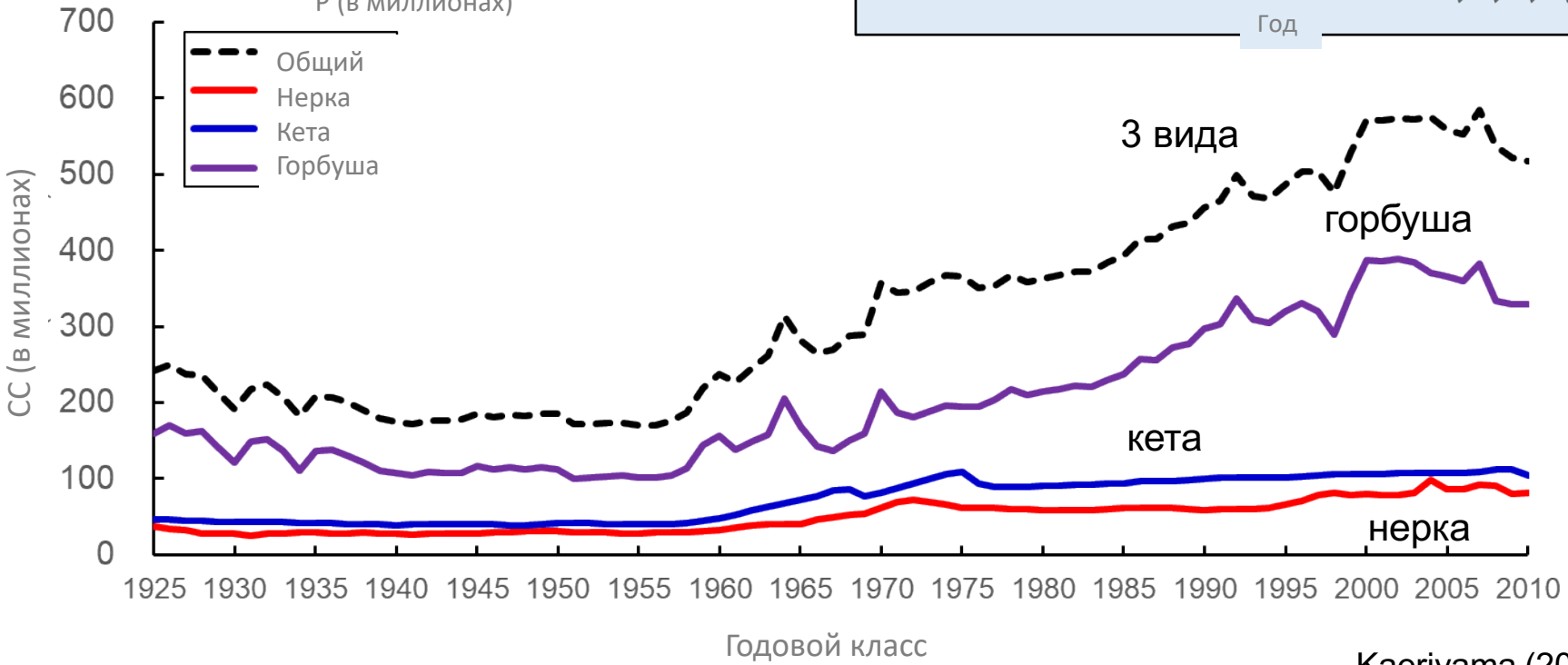


Kaeriyama (2019)

Изменения ёмкости среды для тихоокеанских лососей (нерки, кеты, и горбуши)



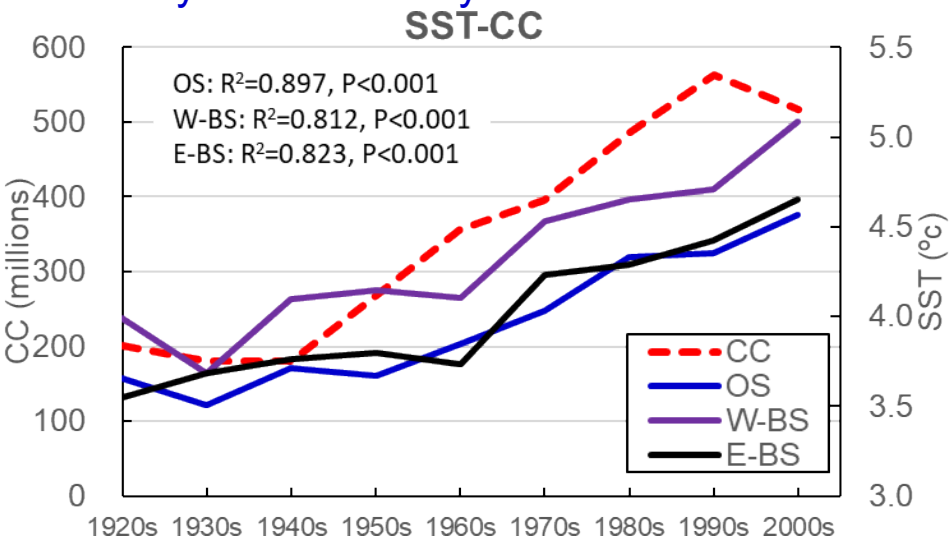


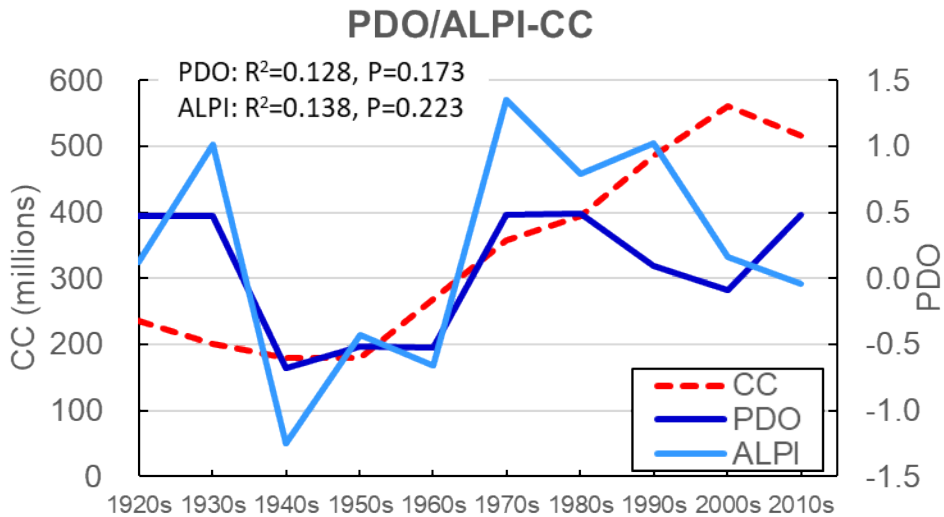


Kaeriyama (2019)

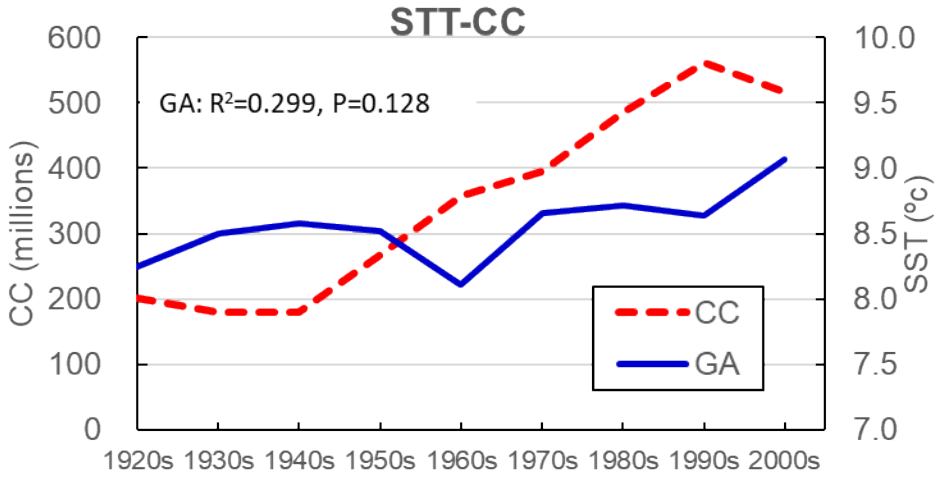
Изменения декадных средних температур SST, индексы изменения климата и ёмкость среды для тихоокеанских лососей

OS: Охотское море, W- & E- BS: Западное и Восточное Берингово море, GA: залив Аляска, CC: ёмкость среды, PDO: Тихоокеанские декадные колебания, ALPI: Индекс Алеутского минимума





- Ёмкость среды привязана к SST в Охотском и Беринговом морях
- Ёмкость среды не связана с PDO и ALPI (а также с SST в заливе Аляска)



Kaeriyama (2019)

Уравнения Лотки-Вольтерра для оценки внутри- и межвидовых взаимодействий у тихоокеанских лососей

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left[1 - \frac{N_1 + \alpha_{12} N_2}{K_1}\right]$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left[1 - \frac{N_2 + \alpha_{21} N_1}{K_2}\right]$$

$$N_1 = K_1 - \alpha_{12} N_2$$

$$N_2 = K_2 - \alpha_{21} N_1$$

$$\alpha_{12} = \frac{K_1 - N_1}{N_2}$$

$$\alpha_{21} = \frac{K_2 - N_2}{N_1}$$

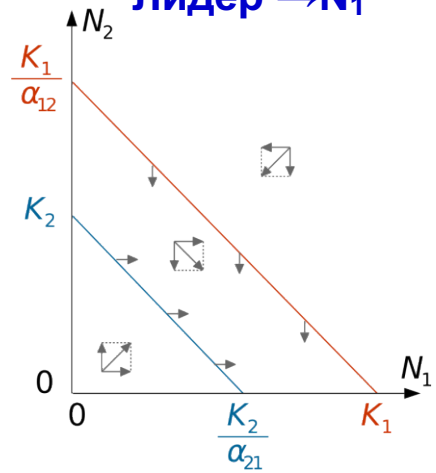
N: размер популяции
K: ёмкость среды
α: коэффициент конкуренции

K: 1996-2018 данные по вылову (в мил.)
N: 2016-2018 данные по вылову (в мил.)

	горбуша	кета	нерка
K	296	94	59
N	379	87	73

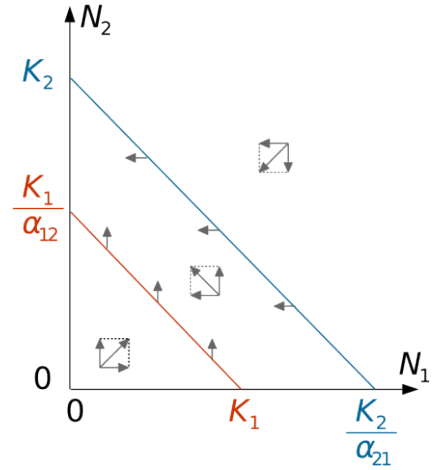
$K_2 < K_1/\alpha_{12}$ & $K_1 > K_2/\alpha_{21}$

Лидер →N_1



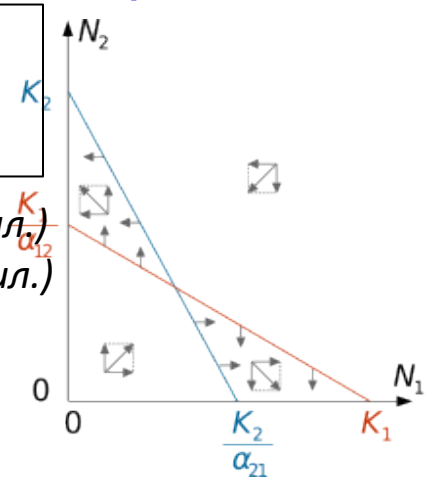
$K_2 > K_1/\alpha_{12}$ & $K_1 < K_2/\alpha_{21}$

Лидер →N_2



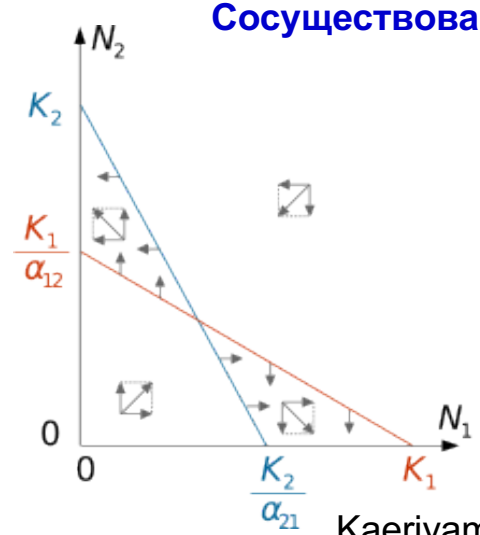
$K_2 > K_1/\alpha_{12}$ & $K_1 > K_2/\alpha_{21}$

Лидер, N_0: $N_1 > N_2$ → N1



$K_2 < K_1/\alpha_{12}$ & $K_1 < K_2/\alpha_{21}$

Сосуществование



Kaeriyama (2019)

Внутри- и межвидовые взаимодействия у кеты, горбуши и нерки по результатам уравнения Лотки-Вольтерра

Межвидовые: Горбуша Нерка> Кета

N_1	N_2	K_2 K_1/α_{12}	K_1 K_2/α_{21}	Лидер
Кета	Горбуша	>	<	Горбуша
Кета	Нерка	>	<	Нерка
Горбуша	Нерка	>	>	Горбуша

Нерка: Аляска > Канада >Россия

N_1	N_2	K_2 K_1/α_{12}	K_1 K_2/α_{21}	Лидер
Россия	Аляска	>	<	Аляска
Россия	Канада	>	<	Канада
Аляска	Канада	>	>	Аляска

Горбуша: Россия > Аляска = Япония > Канада

N_1	N_2	K_2 K_1/α_{12}	K_1 K_2/α_{21}	Лидер
Япония	Россия	>	<	Россия
Япония	Аляска	<	<	**Сосуществование**
Япония	Канада	>	>	Япония
Россия	Аляска	<	>	Россия
Россия	Канада	<	>	Россия
Аляска	Канада	>	>	Аляска

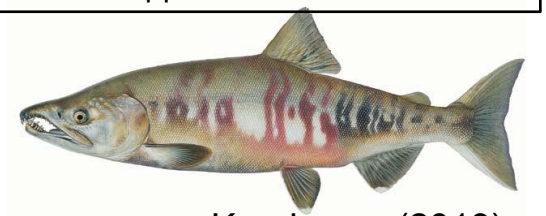
Кета: Аляска > Канада > Россия = Япония

N_1	N_2	K_2 K_1/α_{12}	K_1 K_2/α_{21}	Лидер
Япония	Россия	<	<	**Сосуществование**
Япония	Аляска	>	<	Аляска
Япония	Канада	>	<	Канада
Россия	Аляска	>	<	Аляска
Россия	Канада	>	<	Канада
Аляска	Канада	>	>	Аляска

No. 1. Горбуша: Россия > Аляска = Япония > Канада

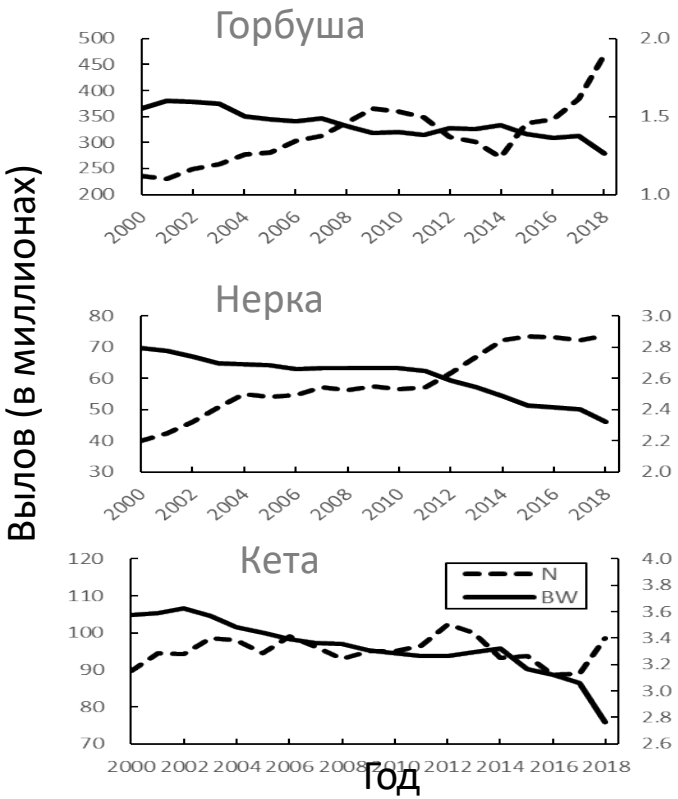
No. 2. Нерка: Аляска > Канада >Россия

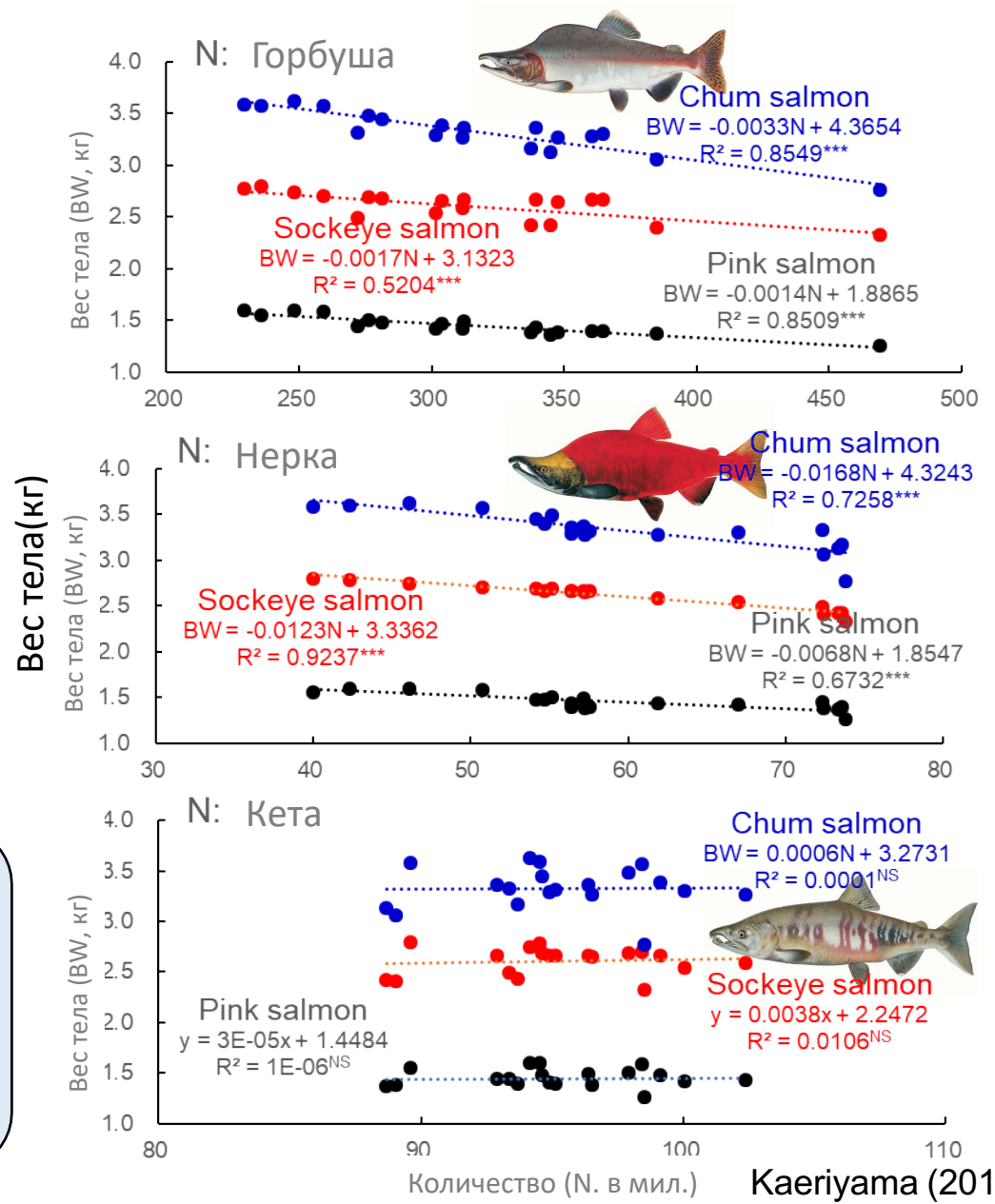
No. 3. Кета: Аляска > Канада > Россия= Япония



Kaeriyama (2019)

Соотношение численности к размеру горбуши, нерки и кеты начиная с 2000





Внутри- и межвидовые взаимодействия 3 видов

эффект зависимости от плотности

Kaeriyama (2019)

ОБОБЩЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В северной части Тихого океана чавыча занимала наивысший троф. уровень, за ней стальноголовый, нерка, кижуч, горбуша и кета.
Кета избегает конкуренции среди тихоокеанских лососей без принципа конкурентного исключения.
Характер кормления тихоокеанских лососей можно определить на основании их трофического положения и структуры каждой экосистемы северной части Тихого океана как “Видовую специфичность и пластичность”.
Общая ёмкость среды для кеты, горбуши и нерки скорее всего сопряжена с SST в Охотском и Беринговом морях, несмотря на отсутствие зависимости с климатическими показателями.
Повышение SST в июле в Охотском и Беринговом морях - причина высокого коэффициента выживаемости российской кеты и горбуши.
По мере дальнейшего потепления, японской кете будет всё сложнее совершать миграцию в Охотское море и достигать необходимого роста в прибрежных морских водах.
Что касается межвидовых конкурентных взаимоотношений горбуши, кеты и нерки, как показывает уравнение Лотки-Вольтерра, горбуша является наиболее сильной, за ней следуют нерка и кета.
Межвидовая конкуренция 3-х видов приведёт к эффекту зависимости от плотности.

Kaeriyama (2019)