



Федеральное агентство по рыболовству  
Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии  
(ФГБНУ «ВНИРО»)

# КАК НАМ ИМПОРТОЗАМЕСТИТЬ ПОСАДОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ?

**Мюге Николай Сергеевич**

Начальник Отдела молекулярной генетики ФГБНУ «ВНИРО»

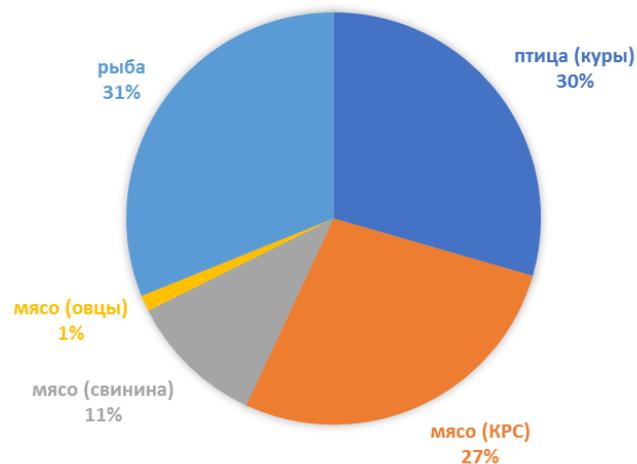


VI GLOBAL FISHERY FORUM & SEAFOOD EXPO RUSSIA

27-29 СЕНТЯБРЯ 2023

# Роль рыбного хозяйства (промысел + аквакультура)

ВКЛАД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ И РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



ВЫЛОВ РЫБЫ В РАЗЛИЧНЫХ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БАССЕЙНАХ + АКВАКУЛЬТУРА



- В 2021 г. российскими рыбаками выловлено 5,05 млн. тонн рыбы, что сопоставимо с результатами других направлений аграрного сектора – куры около 5,07 млн. т., свинина – 4,31 млн. т. и КРС 1,67 млн. т.
- Потребление рыбы и рыбных продуктов около 20 килограммов в год на душу населения (в сравнении с 80 кг на душу населения суммарно мяса птицы, свинины и КРС)
- Почти  $\frac{3}{4}$  объема вылова приходится на Дальневосточный административный округ, и большая доля вылова экспортируется в Китай и другие густонаселенные страны Юго-Восточной Азии

# Динамика развития аквакультуры в РФ



Селекционные достижения в РФ: виды, породы, кроссы



13 пород, 2 кросса, 2 типа карпов



7 пород форели



5 пород, 1 кросс осетровых



2 породы, 1 кросс толстолобиков

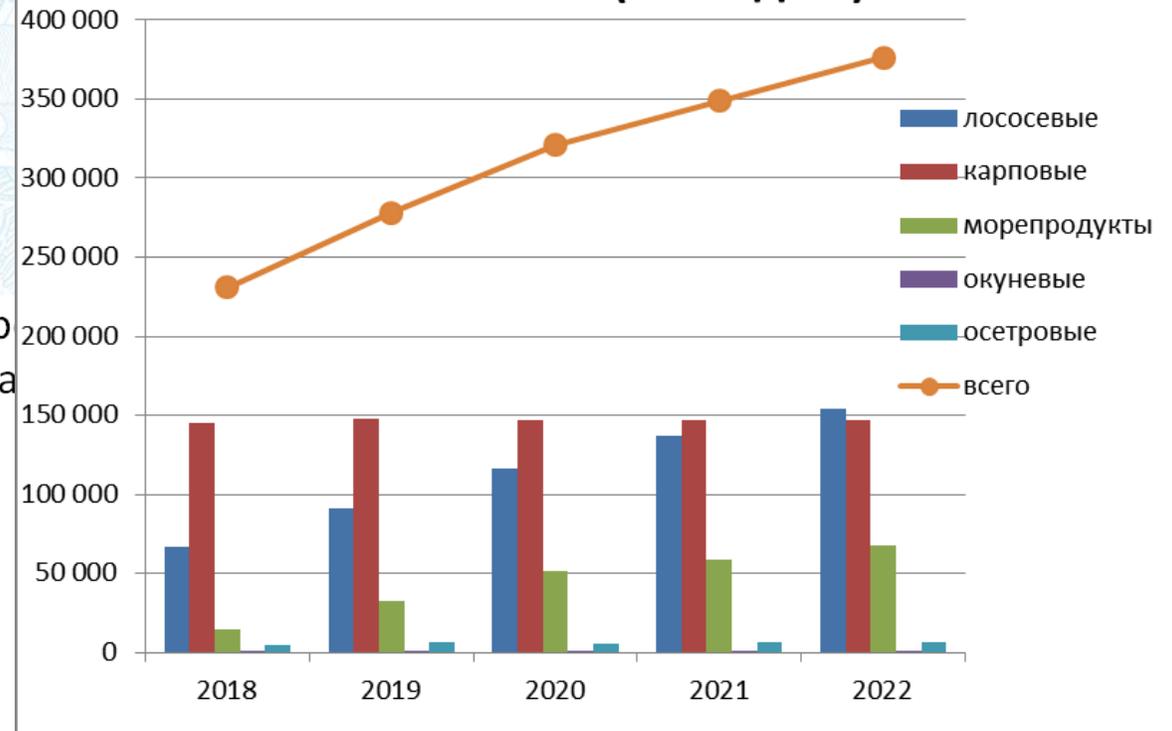


1 порода пеляди

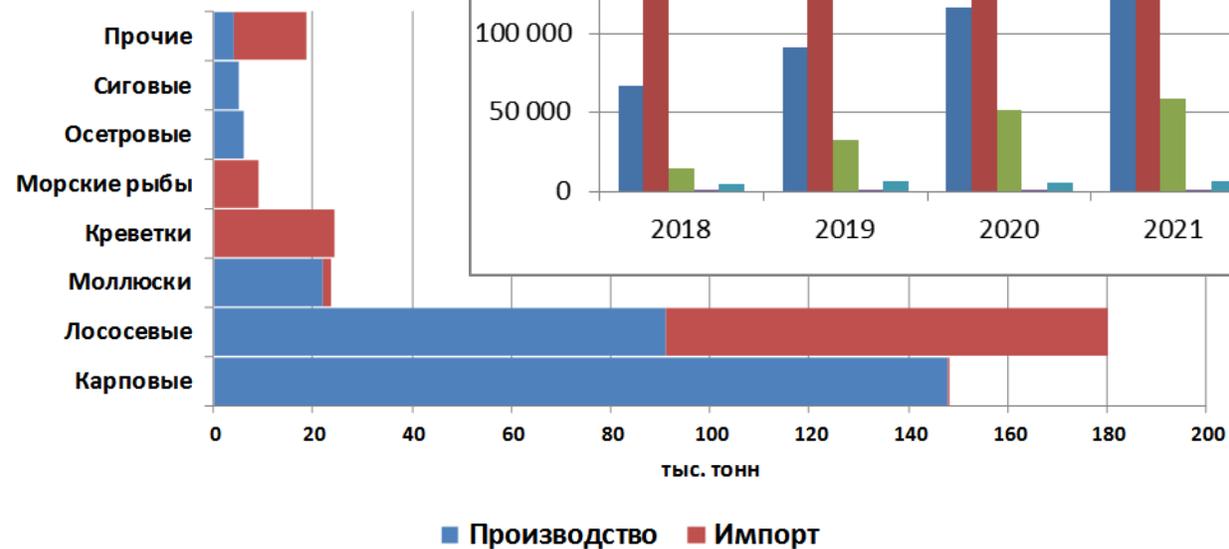


1 порода тилапии

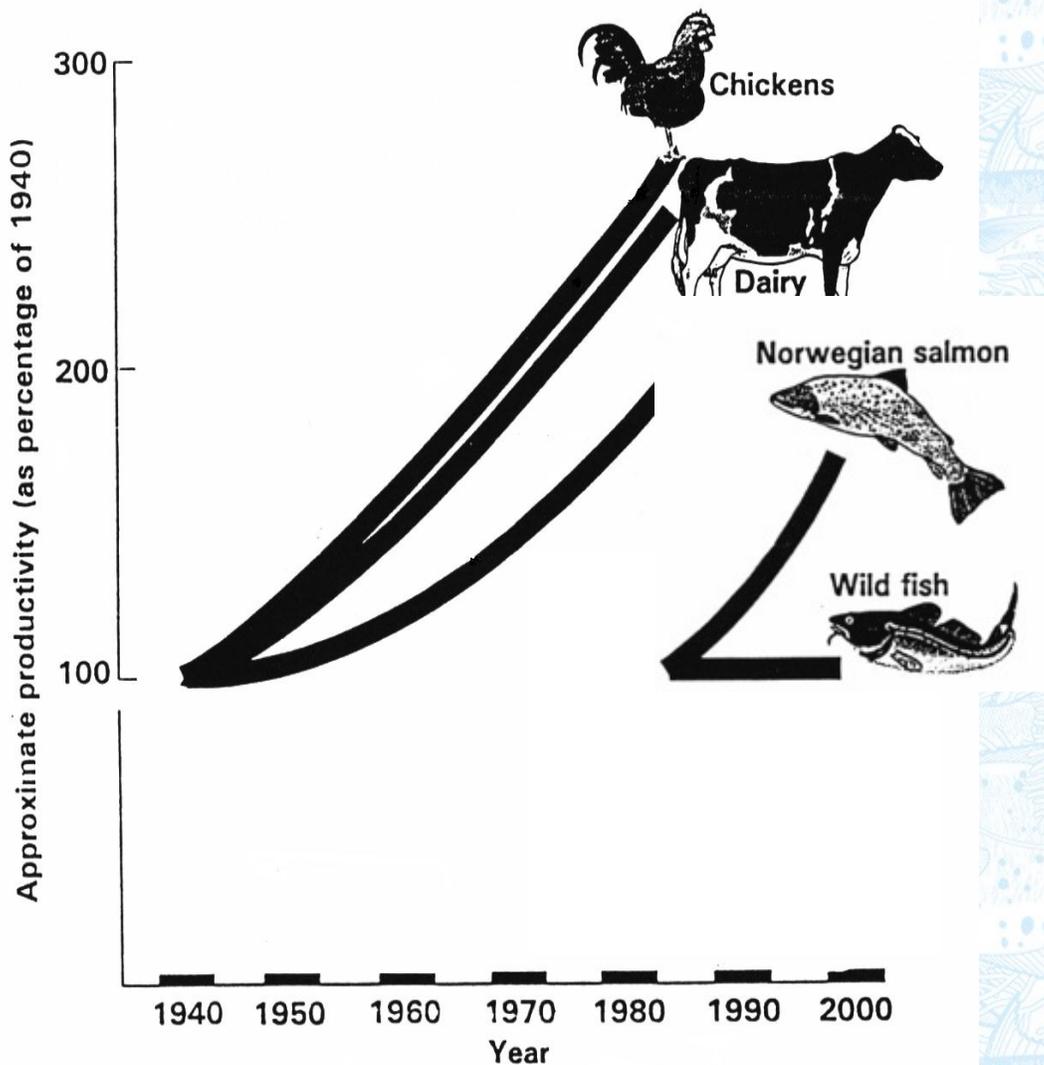
## Динамика продукции аквакультуры в 2018-2020гг (по видам)



## Собственное производство и импорт

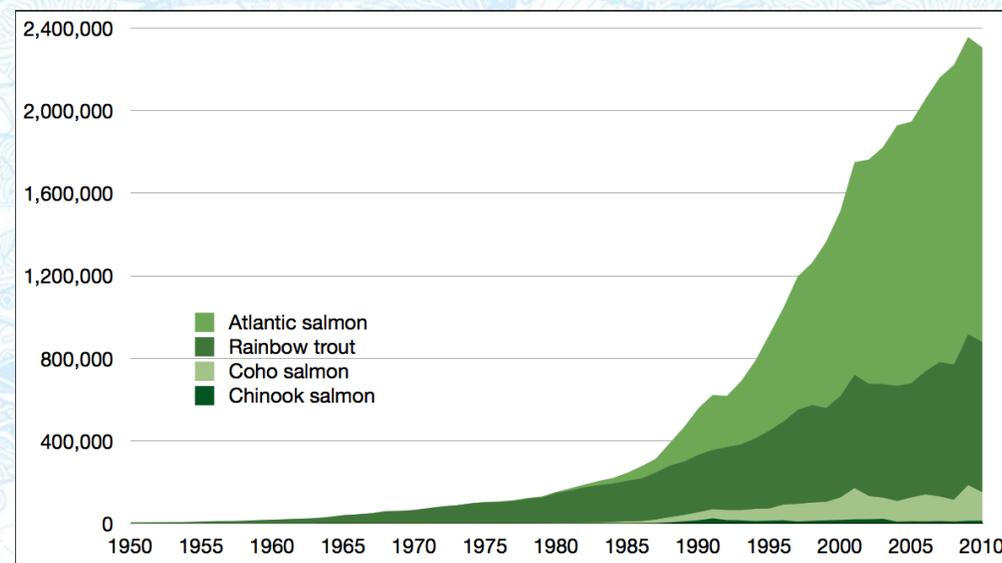


Рост продуктивности основных видов с-х животных как результат развития генетики в XX в.



Development of productivity in farm animals and finfishes.

- Программа по селекции норвежского лосося началась в 1980-х гг. К 2020 г. продукция составила 1,4 млн т. только в Норвегии.



# От 90 до 100% икры лососевых импортируется

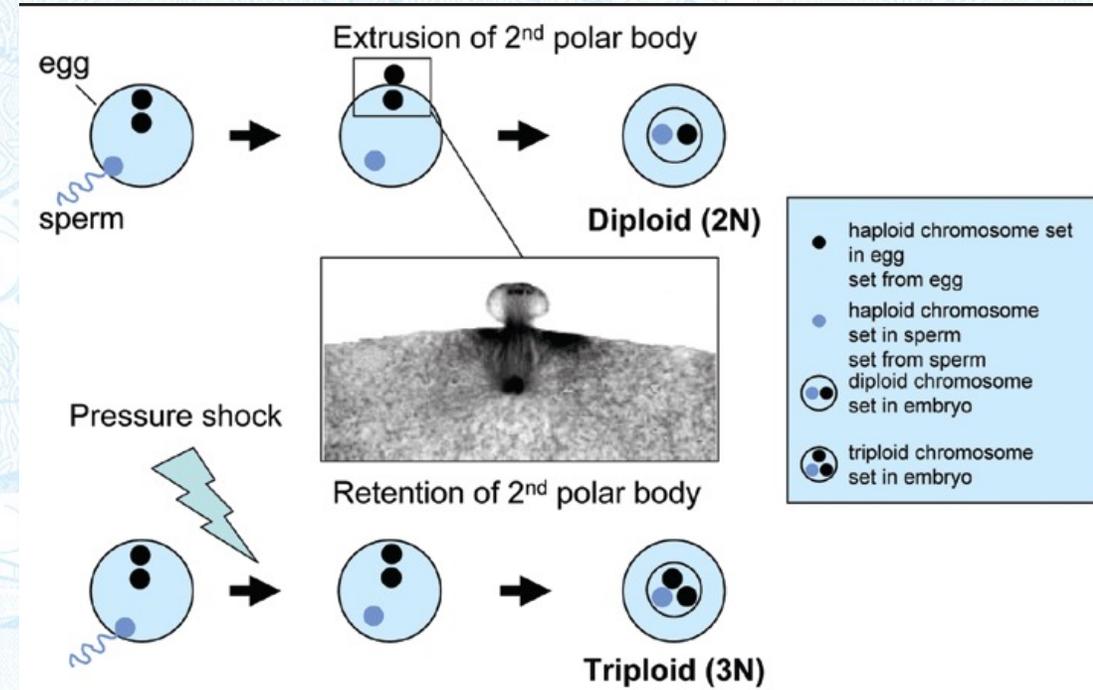
- В 2021-22 гг. потребность для форелеводства составляла 110 миллионов икринок ежегодно, в то время, как только 10 миллионов было выращено от икры российского происхождения, и около 100 миллионов – ввезенных из-за рубежа
- в настоящее время 100% посадочного материала лосося ежегодно ввозится из-за границы – главным образом из Норвегии



# Стерильные триплоидные формы (радужная форель, лосось, устрицы)



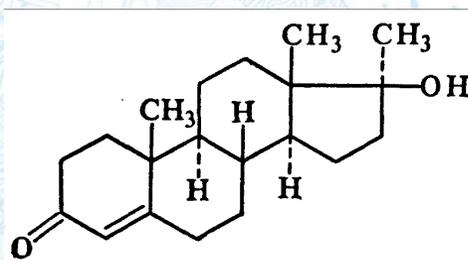
- Благодаря уникальным биологическим свойствам рыб генетические технологии, недоступные для других сельскохозяйственных животных, широко применяются в аквакультуре. В частности, в аквакультуре большую популярность имеют триплоидные (3n) формы – с тремя наборами хромосом вместо стандартных двух. Триплоидная форель имеет существенное преимущество – она стерильна, тем самым не происходит замедление скорости роста рыбы в процессе созревания половых продуктов



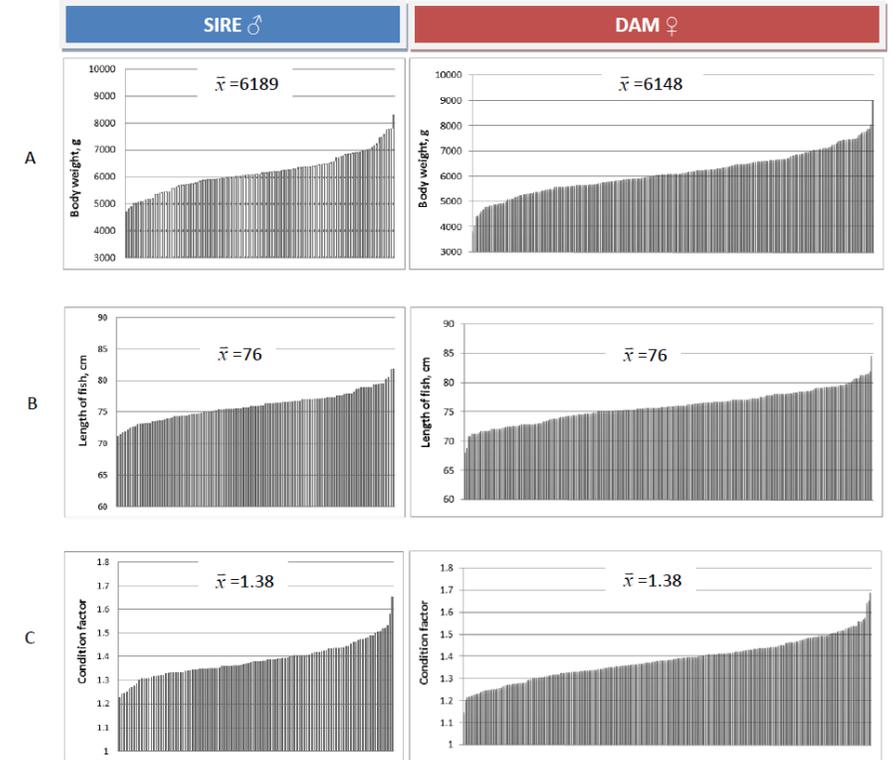
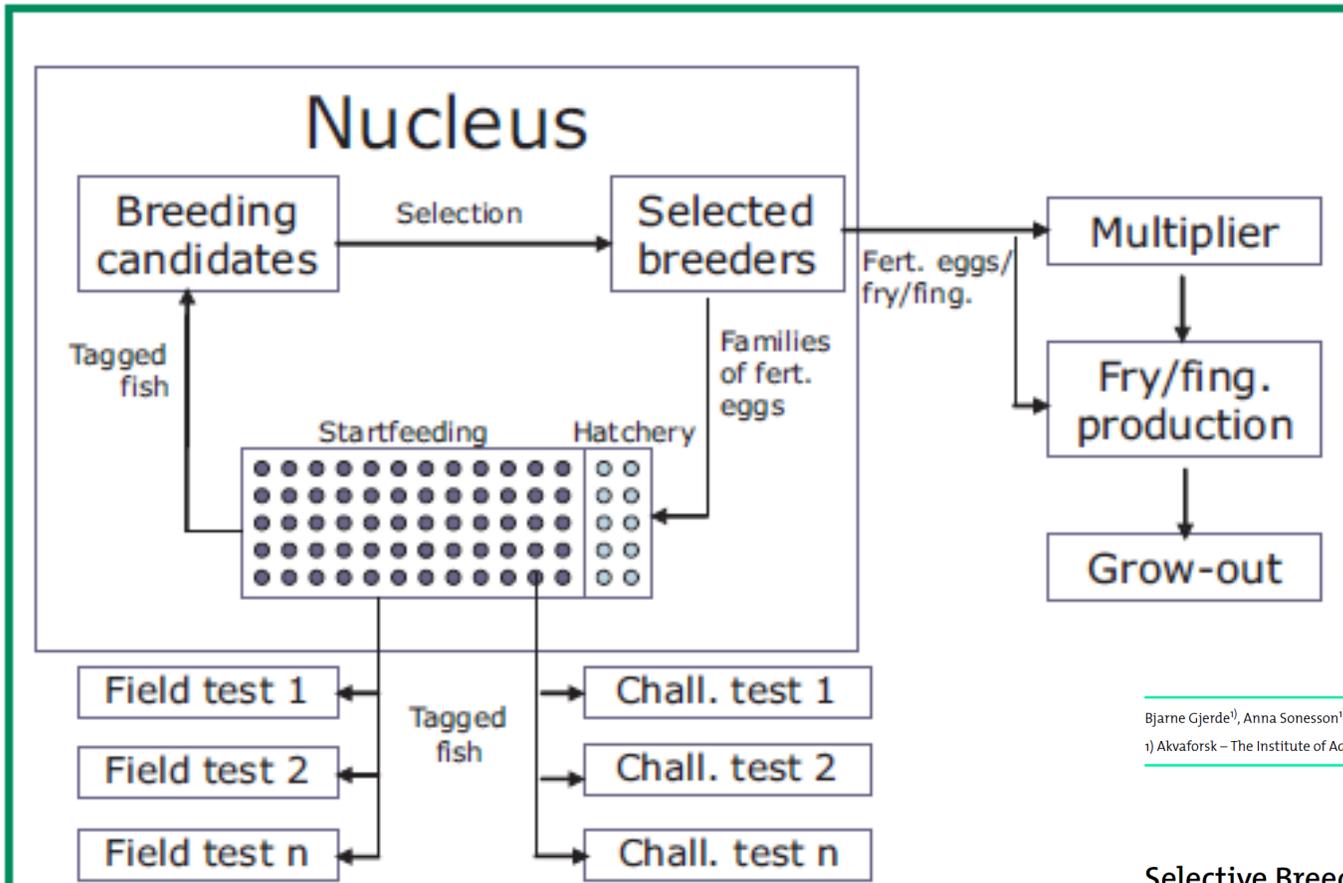
# Получение рыб, представленное только самками

- «Самцы-реверсанты»
- Для получения однополого потомства, часть самок (генотип XX) маточного стада на стадии личинки в их первые 3-4 недели жизни кормят с добавкой синтетического аналога тестостерона (17метил-тестостероном), в результате у мальков происходит полное перепрограммирование генетической программы развития и получают «самцов – реверсантов».
- Вся импортная икра форели представлена однополой («феминизированной») формой. В России нет возможности легально приобрести препарат для получения самцов – реверсантов и получить однополое потомство.
- согласно Постановлению Правительства РФ от 29.12.2007 N 964, метил-тестостерон включен в список сильнодействующих веществ для целей статьи 234 и других статей Уголовного кодекса Российской Федерации

17-метил-тестостерон



# Схема современного селекционного центра по атлантическому лососю (Норвегия)

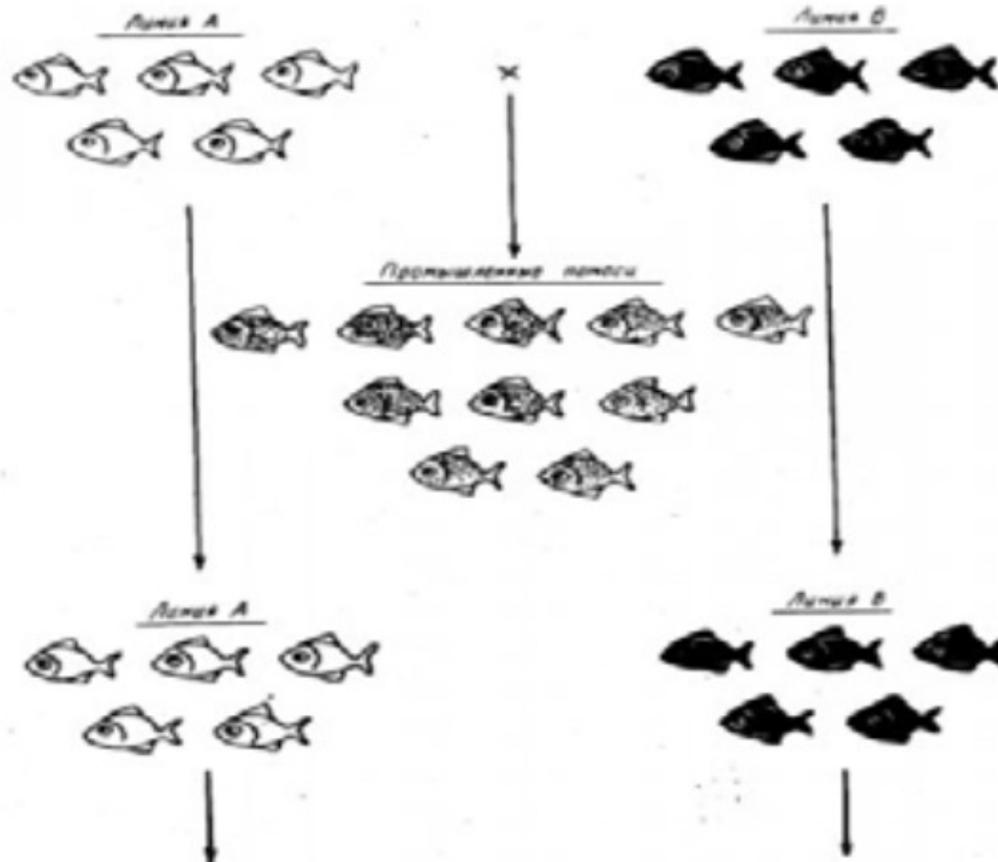


Bjarne Gjerde<sup>1)</sup>, Anna Sonesson<sup>1)</sup>, Arne Storset<sup>2)</sup> and Morten Rye<sup>3)</sup>

1) Akvaforsk – The Institute of Aquaculture Research, 2) Aqua Gen AS, 3) Akvaforsk Genetics Center AS

A), body length (B) and condition factor (C) of Atlantic salmon families.

# Двухлинейные гибриды в товарном рыбоводстве



Е. В. Давыдович

## СЕЛЕКЦИЯ РЫБ

### КУРС ЛЕКЦИЙ

Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию в области сельского хозяйства в качестве учебно-методического пособия для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования ступени по специальности 1-74 03 03 Промышленное рыбоводство

Рис. 10.1. Схема двухлинейного разведения и промышленного скрещивания в товарном рыбоводстве

**В.Я.Катаонов·Н.Б.Черкас**

# СЕЛЕКЦИЯ И племенное дело В рыбодо- водстве



МОСКВА АГРОПРОМИЗДАТ 1986

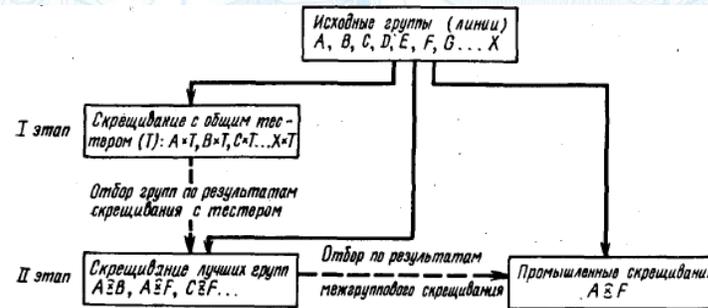


Рис. 17. Схема работ по выявлению гетерозисных сочетаний для промышленной гибридизации

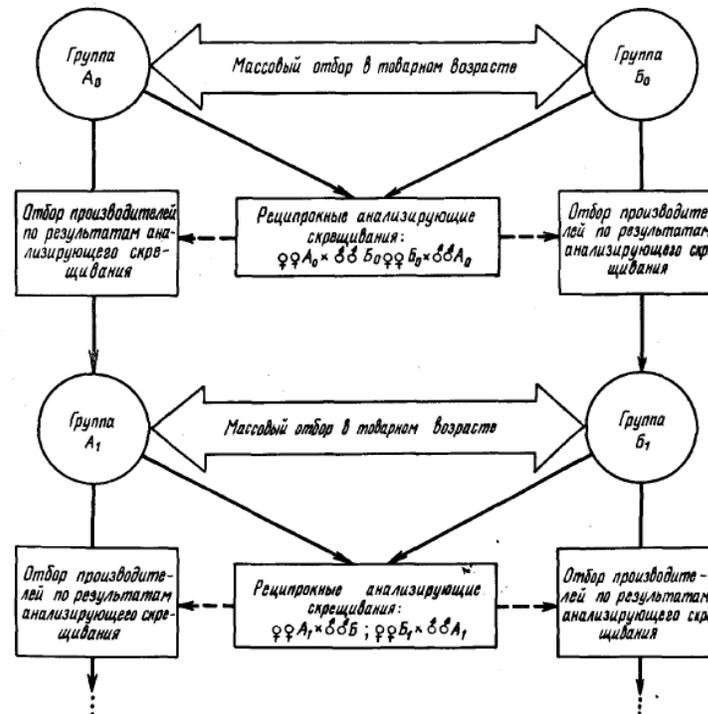


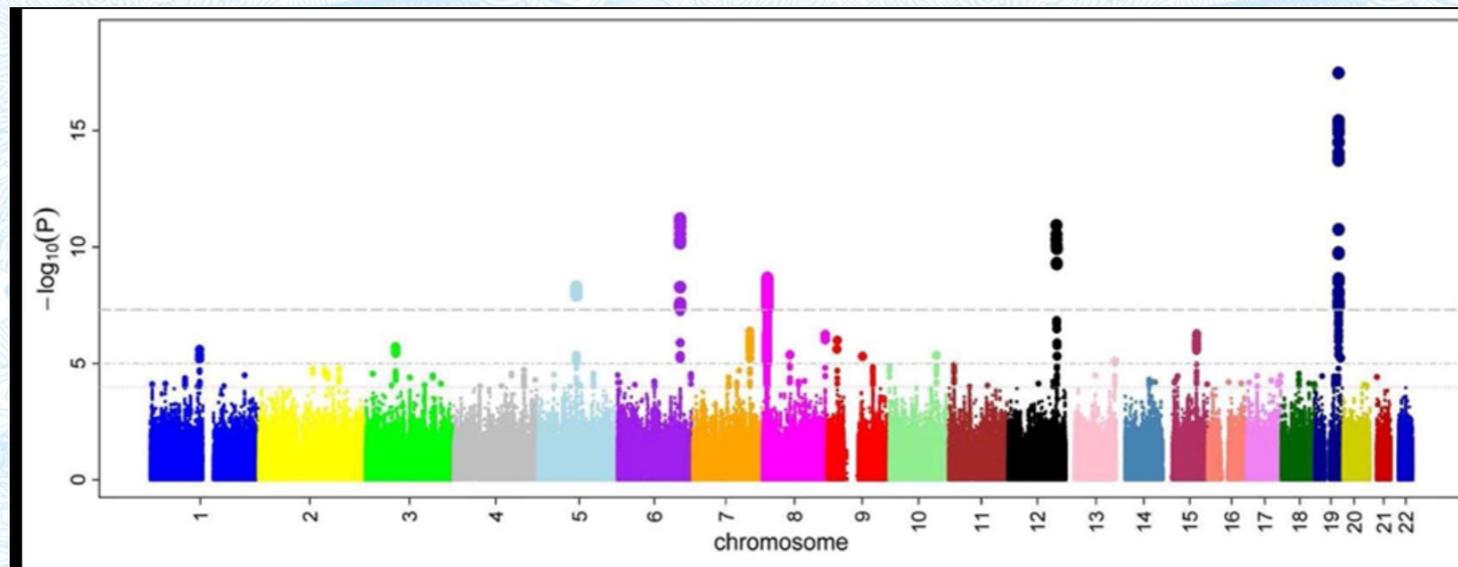
Рис. 18. Схема реципрокной периодической селекции

Эффективность селекции на повышение комбинационной способности показана на примере многих видов животных и особенно птиц. Опыта подобной селекции в рыбоводстве пока еще не имеется, что связано с техническими трудностями, возникающими при проведении такого рода работ.

# Полногеномный поиск ассоциаций и маркер-опосредованная селекция

Полногеномный поиск ассоциаций (англ. **GWAS**, Genome-Wide Association Studies) — направление биологических исследований, связанных с исследованием ассоциаций между геномными вариантами и фенотипическими признаками.

Маркер — опосредованная селекция (англ. Marker Assisted Selection, **MAS**) - метод селекции, при котором отбор нужных признаков и индивидуумов ведется не по морфотипу организма, но непосредственно по генотипу (конкретным локусам).



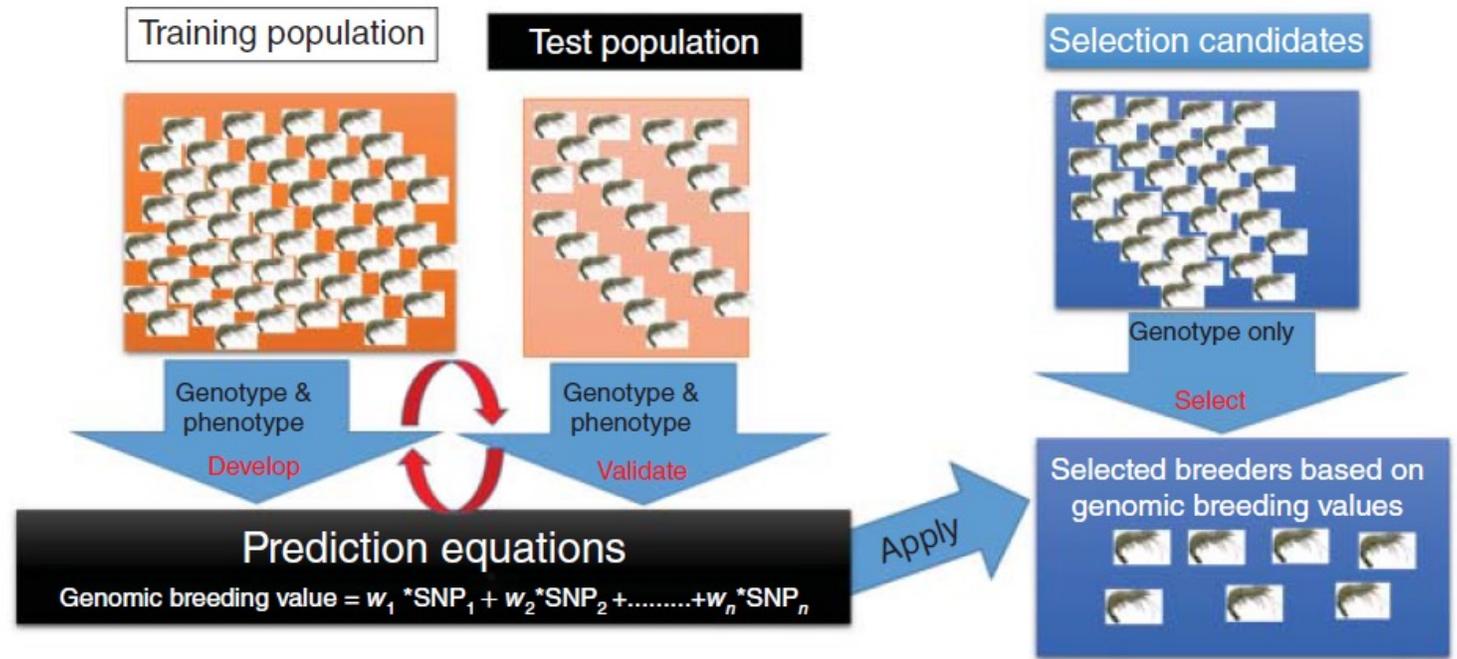
The traits presently selected for in the four breeding programmes for Atlantic salmon in Norway.

Trait	Breeding programme			
	A	B	C	D
Growth in freshwater	X	X	X	X
Body weight at slaughter	X	X	X	X
Early sexual maturity	X	X		
Furunculosis	X	X		
ISA	X	X		
IPN	X	X		X
Dressing percentage	X	X		
Fillet yield		X	X	
Fillet colour	X	X	X	X
Fillet fat	X		X	
Deformity	X	X		
Body shape		X		

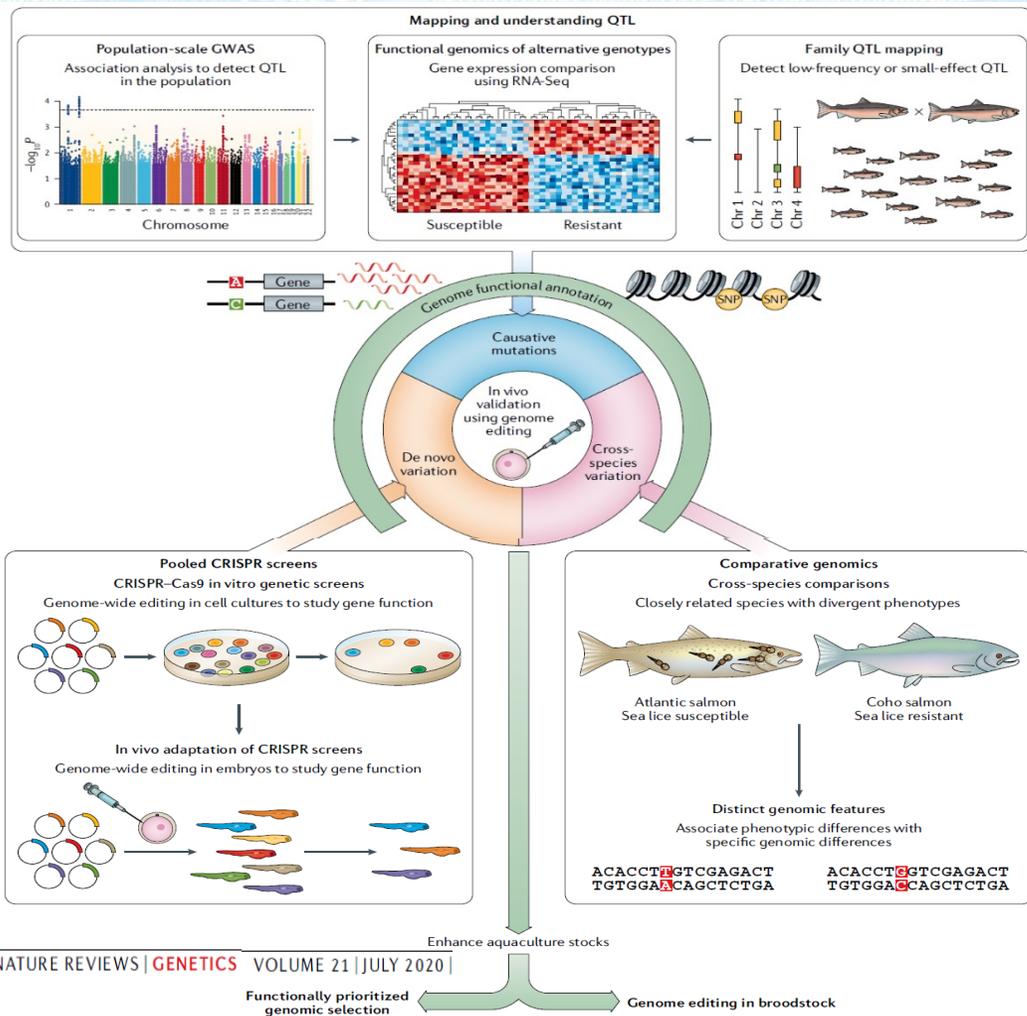
# Принцип применения геномной селекции (Genomic selection, GS)

Если за желаемые признаки отвечают много участков генома, используются методы геномной селекции (Genomic Selection, GS). На основании анализа сотен и тысяч локусов оценивается селекционная ценность производителя (EBV, Estimated Breeding Value) и на основании этих индексов ведется селекция и подбираются пары для получения потомства.

21 GENOMIC SELECTION IN AQUACULTURE BREEDING PROGRAMS



# Геномное редактирование CRISPR/Cas – современный инструмент функциональной геномики



- в мировой практике активно начинаются работы по геномному редактированию – инструменту по направленному внесению точечных изменений в определенных участках генома с использованием технологии CRISPR/CAS. Основное отличие этих технологий от ГМО (генно-модифицированные организмы) в том, что при геномном редактировании не вносится чужеродный генетический материал, а внесенные в геном точечные изменения являются аналогом природного мутационного процесса, наблюдаемого во всех организмах.
- **отсутствие в законодательстве нормативной базы для гено-редактированных животных и растений тормозит внедрение этих современных и многообещающих технологий в практику**

# Биоресурсная коллекция ВБР

## I. Живые коллекции: виды осетровых, породы карпа.



### ОПЫТНОЕ СЕЛЕКЦИОННО-ПЛЕМЕННОЕ ХОЗЯЙСТВО "ЯКОТЬ"



### Научно-экспериментальный комплекс аквакультуры "БИОС"



С 1963 года рыбноводное предприятие «Икрянинский осетровый рыбноводный завод», а ныне Научно-экспериментальный Комплекс Аквакультуры «БИОС» выращивает осетровые виды рыб и осуществляет выпуск молоди белуги и русского осетра в реку Волга и её водотоки.

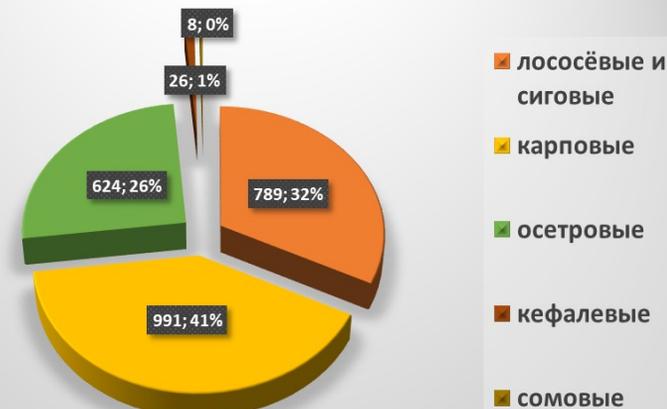
# Биоресурсная коллекция ВБР

## II. Криобанк половых продуктов аквакультурных видов рыб

В 1989г. во Всероссийском научно-исследовательском институте пресноводного рыбного хозяйства был создан низкотемпературный генетический банк спермы рыб.

Коллекция криобанка представлена 32 видами и 38 породами, среди которых виды, занесенные в Красную книгу. В криобанке находятся образцы, заложенные на хранение около 20 лет назад от самцов, пойманных в естественных водоёмах. Общий объем спермы, хранящейся в криобанке, составляет 28849 мл. (37 800 шт.).

Состав коллекции криобанка (образцы, шт.)



# Биоресурсная коллекция ВБР

## III. Коллекция генетических образцов

С 2001 г. ведется коллекция образцов генетического материала рыб и беспозвоночных. Фрагменты ткани фиксированы в этаноле и хранятся при -40С.

В настоящее время Коллекция генетических образцов насчитывает более 140 тысяч единиц хранения, в ней представлены как образцы из природных популяций, так и различных пород, и линий из аквакультуры.

### Каталог УНУ

Установки с 1 п

☰ Фильтр

Сортировать: По рейтингу ↓ По назва

3990221



Биоресурсная коллекция морских и пресноводных водных животных — видов, живых пород и линий рыб, выращиваемых в аквакультуре, банк криоконсервированных половых продуктов и коллекция эталонных генетических материалов водных биологических ресурсов

📍 г. Москва



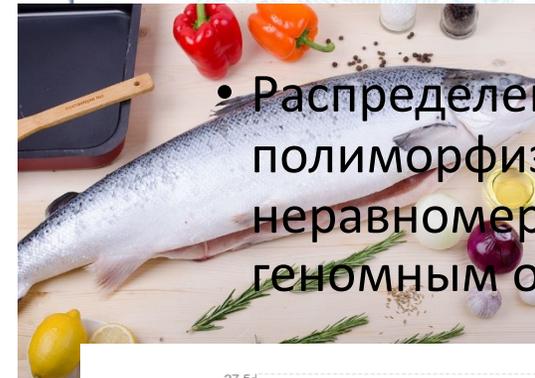
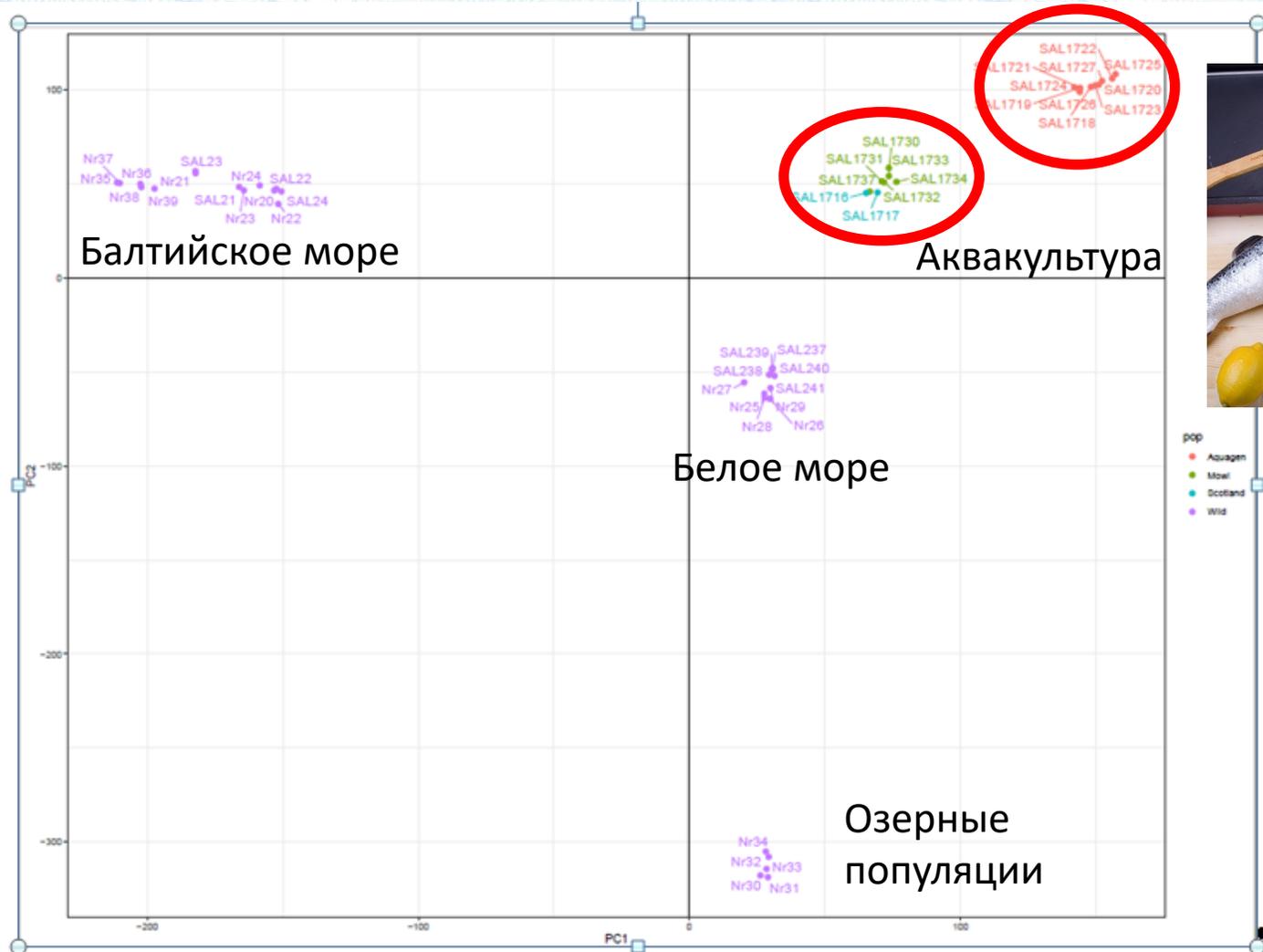
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Создание панели геномных маркеров высокой  
продуктивности и болезнеустойчивости как основа для  
геномной селекции и геномного редактирования при  
создании новых отечественных пород и линий семги,  
форели и карпа  
15.ИП.21.0010

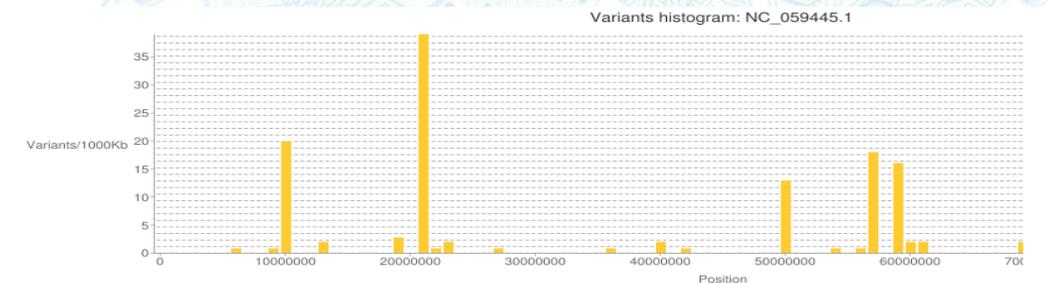
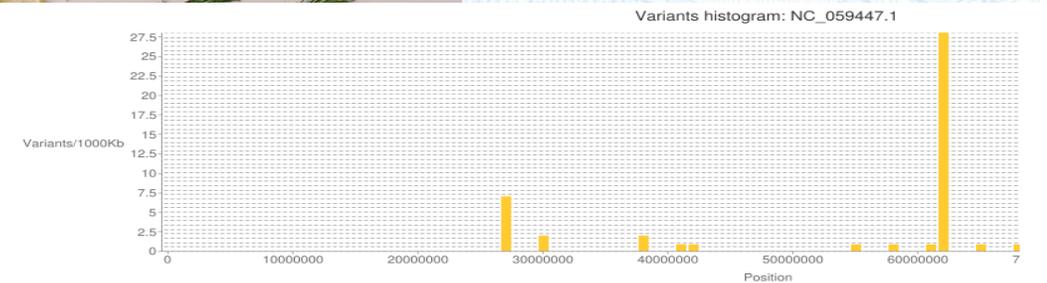
«Развитие технологий геномного редактирования для решения  
инновационных задач  
аграрного промышленного комплекса в области животноводства и  
аквакультуре»

*Рук. Мюге Николай Сергеевич*

# Полногеномное секвенирование различных популяций дикой семги (*Salmo salar*) и аквакультурного лосося



• Распределение дифференцирующих полиморфизмов на хромосомах неравномерно и соответствует геномным островкам дивергенции.



# Полногеномное секвенирование микижи и аквакультурных линий радужной форели

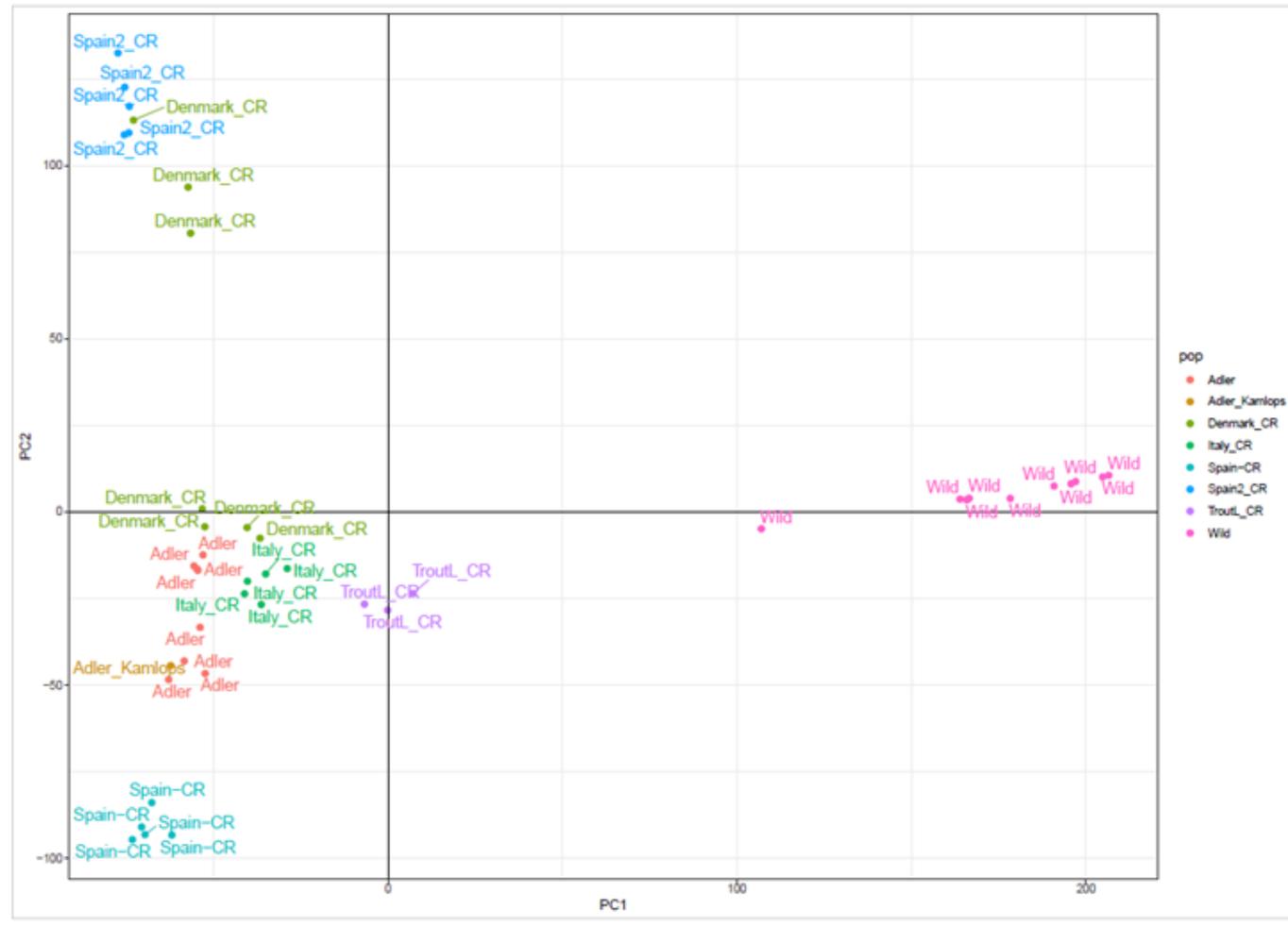


Рисунок 7. Распределение диких форм (микижа) и аквакультурных форм (радужная форель) в пространстве первой и второй главных компонент.

# Аннотация несинонимичных SNPs



Chrom	Position	ID	REF	ALT	Wild.Ref.A	Wild.Alt.A	Aquagen.F	Aquagen.Alt.	Alele.freq	Annotation
NC_059443.1	75133820	437846	C	T	0,80	0,20	0,00	1,00	NACHT, LRR and PYD domains-containing protein 1b allele 2-like	ANN=T missense_variant
NC_059443.1	83181557	453433	T	C	0,98	0,02	0,00	1,00	zinc finger protein OZF-like	ANN=C missense_variant
NC_059443.1	83280546	453658	C	G	0,98	0,02	0,00	1,00	zinc finger protein 239-like	ANN=G missense_variant
NC_059443.1	83286538	453683	A	T	0,98	0,02	0,00	1,00	zinc finger protein 670-like	ANN=T missense_variant&
NC_059444.1	68124206	608111	C	A	0,88	0,12	0,00	1,00	volume-regulated anion channel subunit LRRC8D-like	ANN=A missense_variant
NC_059444.1	86273973	640569	A	G	0,95	0,05	0,00	1,00	E3 ubiquitin-protein ligase rnf213-alpha	ANN=G missense_variant
NC_059446.1	2573255	853413	G	A	0,91	0,09	0,05	0,95	neuralized E3 ubiquitin protein ligase 1B [ Homo sapiens (human) ]	ANN=A missense_variant
NC_059446.1	8017282	871812	C	A	0,93	0,07	0,10	0,90	cationic amino acid transporter 2-like	ANN=A missense_variant
NC_059446.1	38453615	933830	G	C	0,81	0,19	0,05	0,95	protocadherin gamma-C5-like	ANN=C missense_variant
NC_059446.1	38457346	933845	G	C	0,93	0,07	0,15	0,85	protocadherin gamma-C5	ANN=C missense_variant
NC_059446.1	52194322	955317	A	G	0,97	0,03	0,20	0,80	trophoblast glycoprotein	ANN=G missense_variant
NC_059447.1	41158430	1097855	G	C	0,97	0,03	0,20	0,80	uncharacterized LOC106607289	ANN=C missense_variant
NC_059447.1	62577530	1128576	G	A	0,78	0,22	0,05	0,95	minichromosome maintenance 9 homologous recombination repair factor	ANN=A missense_variant
NC_059449.1	15539449	1367705	C	T	0,71	0,29	0,00	1,00	sperm-associated antigen 5	ANN=T missense_variant
NC_059449.1	15540094	1367708	C	G	0,93	0,07	0,20	0,80	sperm-associated antigen 5	ANN=G missense_variant
NC_059450.1	77959345	1516377	T	G	0,90	0,10	0,05	0,95	slit homolog 3 protein	ANN=G missense_variant
NC_059453.1	8964948	2075365	T	C	0,17	0,83	1,00	0,00	zinc finger protein 271-like	ANN=C missense_variant
NC_059454.1	96068392	2401875	A	T	0,79	0,21	0,05	0,95	rabphilin 3A homolog (mouse), a [ Danio rerio (zebrafish) ]	ANN=T missense_variant
NC_059456.1	2470279	2636121	G	A	0,95	0,05	0,15	0,85	titin-like	ANN=A missense_variant
NC_059456.1	2470468	2636122	G	T	0,95	0,05	0,15	0,85	titin-like	ANN=T missense_variant
NC_059456.1	25359169	2691255	G	C	0,79	0,21	0,05	0,95	tumor necrosis factor alpha-induced protein 2-like	ANN=C missense_variant
NC_059456.1	29003271	2700079	G	A	0,21	0,79	0,95	0,05	putative GPI-anchored protein pfl2	ANN=A missense_variant
NC_059456.1	55384465	2738634	C	T	0,95	0,05	0,20	0,80	WD repeat and coiled-coil-containing protein-like	ANN=T missense_variant
NC_059456.1	58893399	2744509	C	A	0,12	0,88	0,95	0,05	pre-mRNA-processing factor 17	ANN=A missense_variant
NC_059457.1	26428415	2876369	C	A	0,88	0,12	0,05	0,95	NACHT, LRR and PYD domains-containing protein 12-like	ANN=A missense_variant
NC_059457.1	73523056	2943859	C	T	0,05	0,95	0,90	0,10	TRNAL-CAG transfer RNA leucine (anticodon CAG) [ Abrus precatorius (Ind	ANN=T missense_variant
NC_059457.1	78740444	2950787	C	A	0,88	0,12	0,10	0,90	transmembrane protein 131-like	ANN=A missense_variant
NC_059458.1	51613810	3056792	T	C	0,17	0,83	1,00	0,00	protein-methionine sulfoxide oxidase mical3a	ANN=C missense_variant
NC_059458.1	62379075	3073198	A	T	0,93	0,07	0,15	0,85	uncharacterized LOC106576302	ANN=T missense_variant
NC_059458.1	62379087	3073200	A	G	0,91	0,09	0,15	0,85	uncharacterized LOC106576302	ANN=G missense_variant
NC_059458.1	62379097	3073202	G	A	0,91	0,09	0,15	0,85	uncharacterized LOC106576302	ANN=A missense_variant
NC_059458.1	62379105	3073204	C	T	0,91	0,09	0,15	0,85	uncharacterized LOC106576302	ANN=T missense_variant
NC_059460.1	29143621	3313099	G	C	0,86	0,14	0,05	0,95	general transcription factor II-I repeat domain-containing protein 2-like	ANN=C missense_variant
NC_059461.1	88143126	3556121	T	C	0,90	0,10	0,10	0,90	immunoglobulin superfamily member 10-like	ANN=C missense_variant
NC_059461.1	95481214	3583010	C	A	0,21	0,79	1,00	0,00	contactin 5 [ Homo sapiens (human) ]	ANN=A missense_variant
NC_059462.1	51198311	3677268	T	C	0,10	0,90	0,95	0,05	trace amine-associated receptor 8c-like	ANN=C missense_variant
NC_059467.1	19634242	4147682	C	T	0,86	0,14	0,10	0,90	involucrin-like	ANN=T missense_variant



# ЦКП «Рыбохозяйственная геномика»

- В 2022 г. на базе отдела молекулярной генетики ВНИРО создан ЦКП «Рыбохозяйственная геномика», оснащенного всем необходимым оборудованием для широкого спектра генетических и геномных исследований, в том числе для генетического сопровождения программ по маркер-опосредованной и геномной селекции.

**НТИРФ** Каталог ЦКП Каталог УНУ Услуги

Научно-технологическая инфраструктура  
Российской Федерации

## Каталог ЦКП

3579654 ★ 0.0

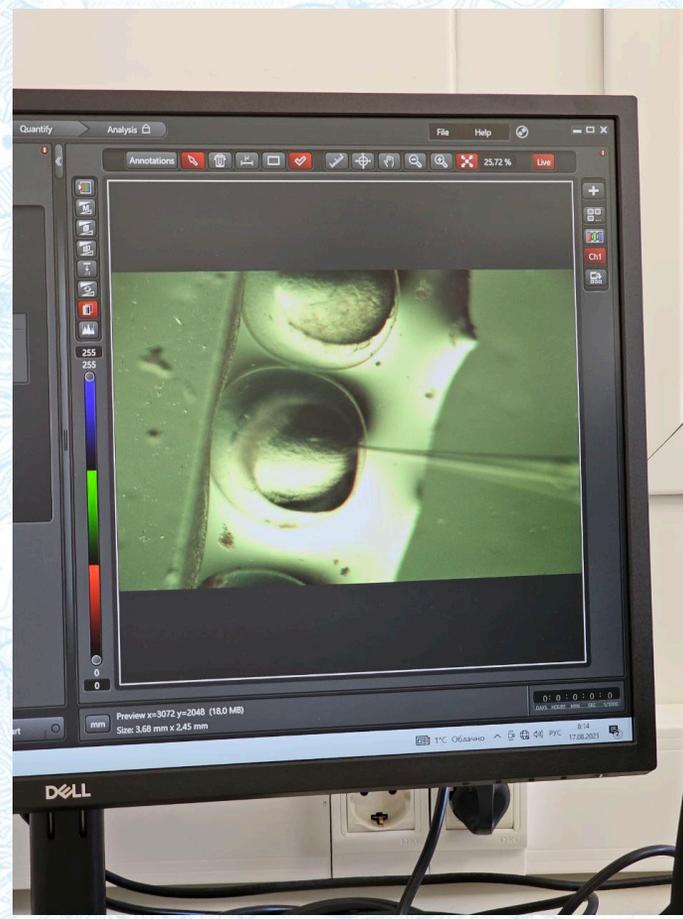
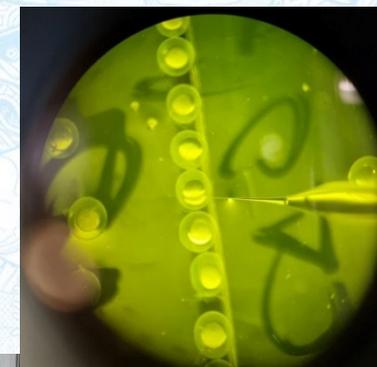
Центр коллективного пользования  
«Рыбохозяйственная геномика»

г. Москва

12 0

<https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/>

# Создан «Центр геномного редактирования», проводятся эксперименты по редактированию с использованием технологии CRISPR/Cas



# Будущее российской аквакультуры зависит

ОТ:

- ❑ Заинтересованность бизнеса в создании собственных пород и производстве посадочного материала, строительство собственных селекционных центров
- ❑ Подготовка кадров (КПК, профильные кафедры, учебные пособия)
- ❑ Приведение законодательства и нормативной базы в соответствие с требованиями времени
- ❑ Государственные программы развития генетических технологий и селекционных центров по основным видам аквакультурных рыб



Цех рыбопереработки ПАО «ИНАРКТИКА»

- Перспективы развития генетических технологий в селекции видятся в дальнейшем тесном сотрудничестве науки и бизнеса при организационной и финансовой государственной поддержке – только в такой комбинации возможен коммерчески эффективный и оправданный проект по созданию собственных высокопродуктивных пород в аквакультуре и преодолению тотальной зависимости от зарубежных поставщиков высокопродуктивного посадочного материала лососевых видов рыб.

Благодарю  
за внимание!

