

# Вопросы по промысловой ИХТИОЛОГИИ

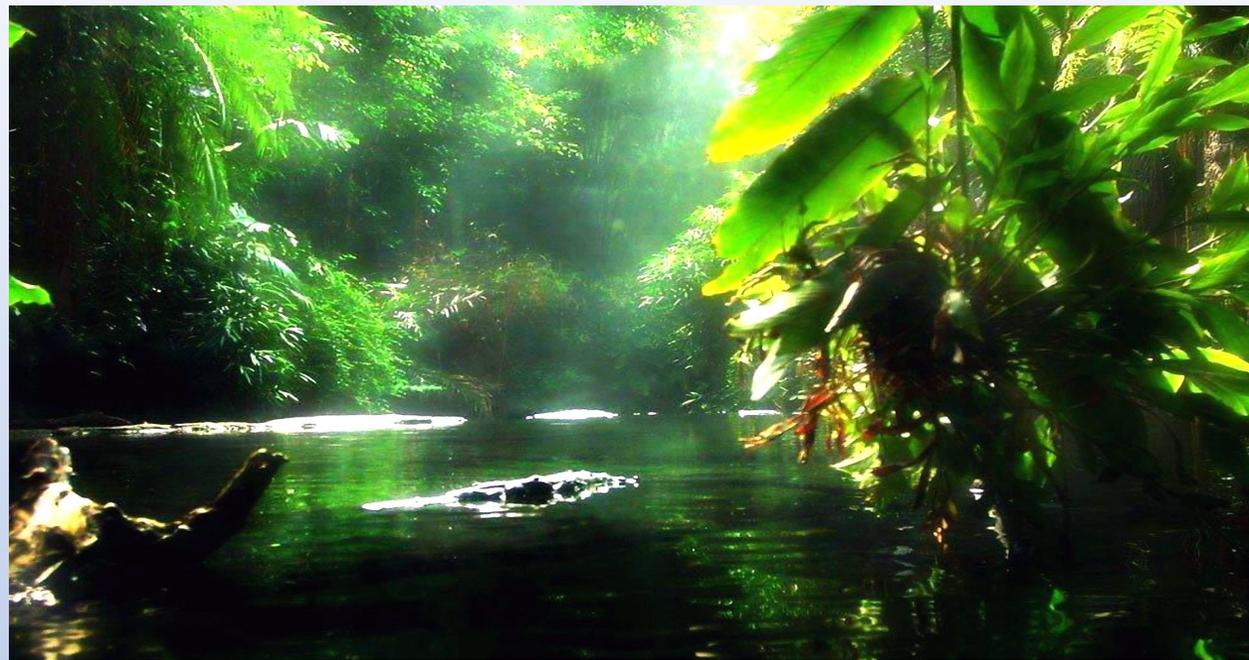
1-я Часть

1. Формирование первичной продукции водных экосистем. Трофические цепи: 1) автотрофы (фитопланктон) – зоопланктон – планктонофаги - хищники, сапротрофы (бентос) – бентосоядные рыбы – хищники. Зоны максимальной биопродуктивности в Мировом океане (цифры). Наиболее продуктивные районы промышленного лова.

- 2. Зависимость продуктивности водоемов от уровней трофности. Трофические пирамиды. Перевернутая трофическая пирамида, характерная для открытых океанических вод. Объясните закономерность снижения продуктивности водоема в расчете на единицу площади с увеличением размеров водоема.



- ***К первому типу экосистем*** относятся океаны и леса, являющиеся основой жизнеобеспечения на планете Земля (используется только энергия Солнца). Хотя экосистемы первого типа неспособны поддерживать высокую плотность их фауны и флоры, но они занимают громадные площади - только океаны занимают 70% территории земного шара.



- ***Ко второму типу экосистем*** относят эстуарии в приливных морях, речные экосистемы, дождевые леса, т. е. те экосистемы, которые субсидируются энергией приливных волн, течений и ветра.
- Экосистемы второго типа обладают высокой естественной плодородностью, поскольку организмы, проживающие в эстуариях, приспособились использовать «дополнительную» энергию приливов и течений, а в дождевых лесах - энергию ветра и дождя и т. п. Эти системы производят первичную биомассу в таком количестве, что ее хватает не только на собственное содержание, но и для субсидирования других систем или накопления.
- 1-й и 2-й типы экосистем очищают большие объемы воздуха и возвращают в оборот пресную воду, принимают участие в формировании климата и др.

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПИРАМИДА

ТРОФИЧЕСКИЕ УРОВНИ



ПРОДУКЦИЯ

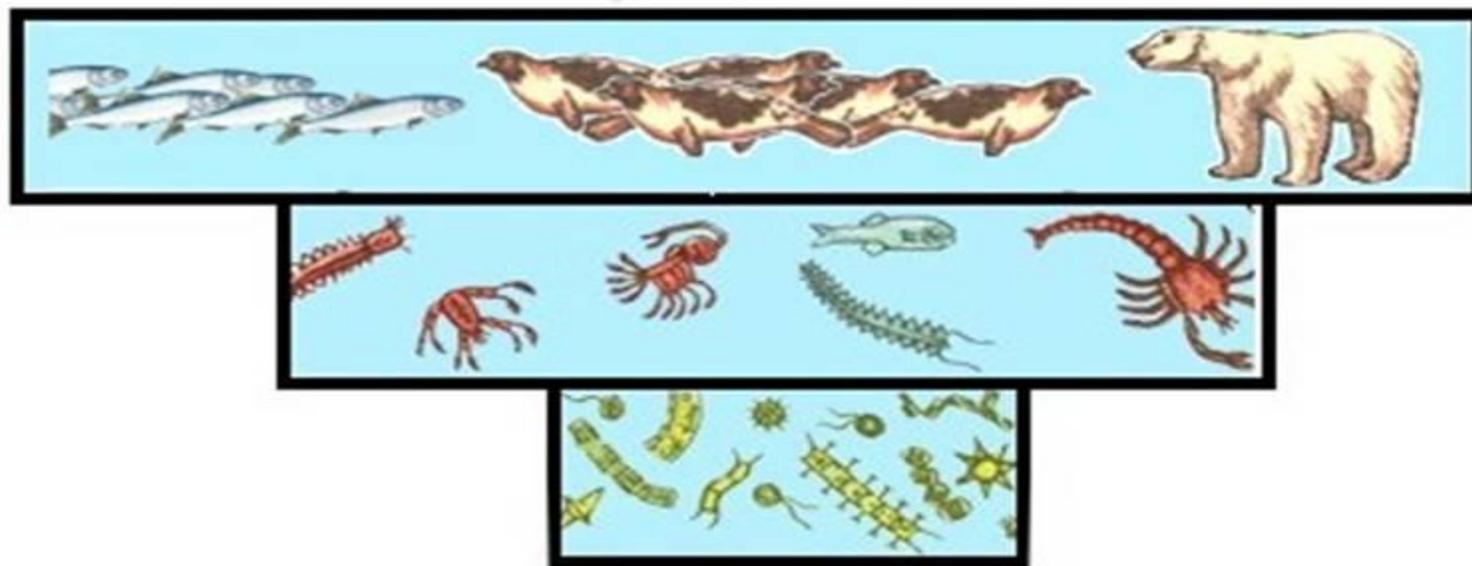
ПРОДУКЦИЯ

- Главная ошибка классической биоценологии – основной источник органического вещества в небольших водоемах - не автотрофы (такое утверждение справедливо исключительно для океана и больших озер!), а суша, откуда в водоемы проникают органика, которая разлагается бактериями и другими сапротрофными организмами. Исключение – короткий период весенней вспышки развития фитопланктона.
- Отсюда вытекает:
  - - основа питания водных гетеротрофов в небольших водоемах - не планктон, а бентос, использующий органику, создаваемую как наземными автотрофами (листья и другие остатки наземных растений, так и водными автотрофами (водные растения),
  - - чем выше площадь водоема и больше глубина, тем ниже его продуктивность в расчете на единицу площади или объема воды, так как энергетическая подпитка за счет наземных автотрофов в расчете на единицу площади или объема воды снижается,
  - – способности водоемов перерабатывать поступающие в них биогены сильно преувеличивались в XX веке.

Перевернутая пирамида биомассы свойственна морским экосистемам, где первичные продуценты (фитопланктонные водоросли) очень быстро делятся, а их потребители (зоопланктонные ракообразные) гораздо крупнее, но размножаются значительно медленнее. Морские позвоночные имеют еще большую массу и длительный цикл воспроизводства.



## 2. Экологическая пирамида биомассы



Различают *пирамиду чисел*, когда сравнивается число особей на каждом пищевом уровне, *пирамиду биомассы* — если сравнивается биомасса каждого уровня, *пирамиду энергии* — при сравнении количества энергии заключенной в пище каждого уровня. Наглядно использование энергии консументами можно выразить формулой:

*ПИЩА = ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН + ПРИРОСТ БИОМАССЫ + ЭКСКРЕМЕНТЫ*

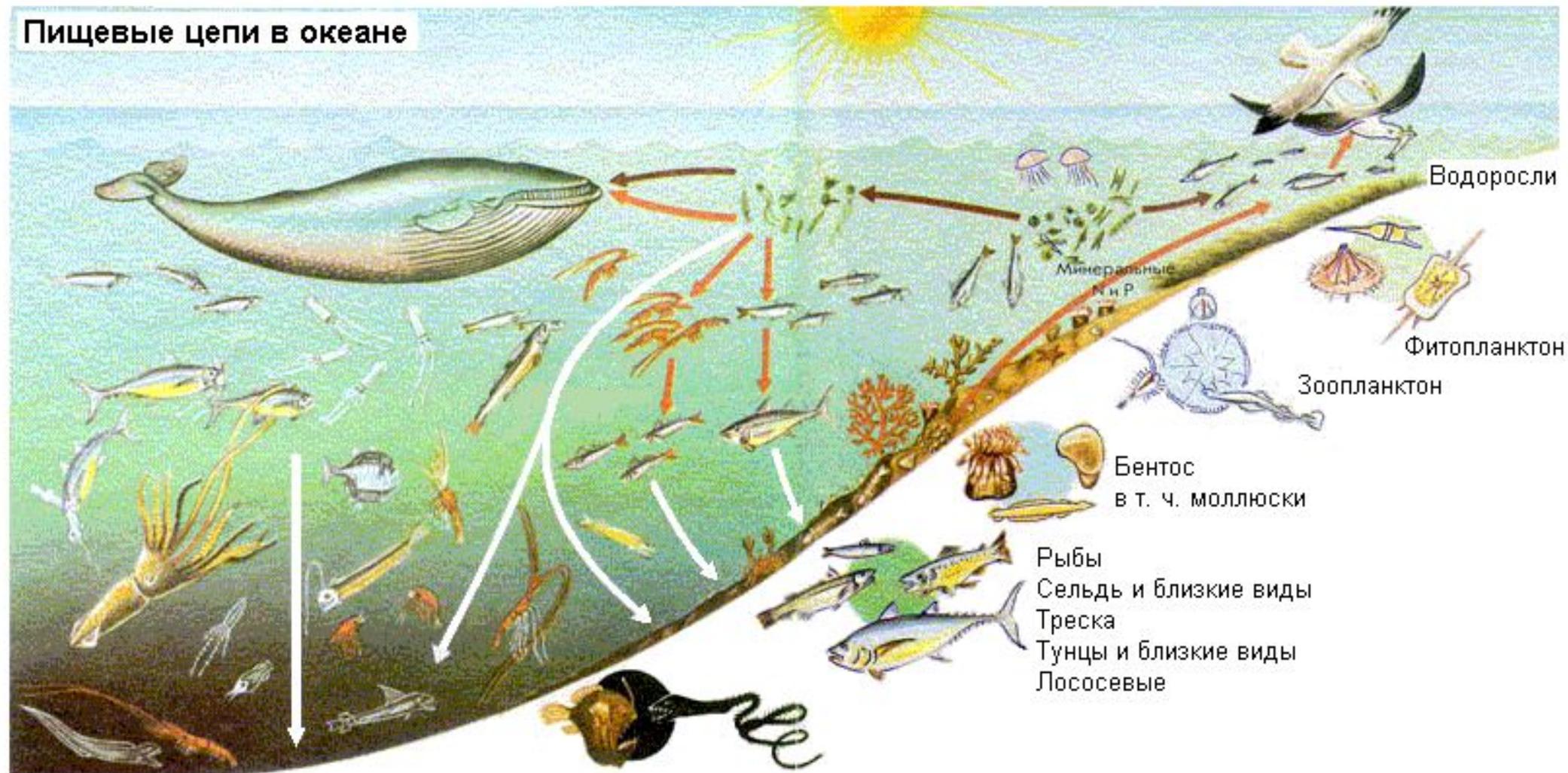
- «Перевернутая» трофическая пирамида водной системы

# Продуктивность морских экосистем

Экосистема	Площадь, $10^6 \text{ км}^2$	Валовая первичная продуктив- ность, $\text{ккал} \cdot \text{м}^{-2}$ в год	Общая вало- вая продук- тивность, $10^{16} \text{ ккал}$ в год
<i>Морские</i> <sup>1)</sup>			
Открытый океан	326,0	1 000	32,6
Прибрежные воды	34,0	2 000	6,8
Районы апвеллинга	0,4	6 000	0,2
Эстуарии и рифы	2,0	20 000	4,0

<b>В морях</b>							
21	Северо-Западная Атлантика	2 041 599	1 842 787	1 811 436	-11,3	-1,7	-31 351
27	Северо-Восточная Атлантика	8 654 911	9 139 199	8 313 901	-3,9	-9,0	-825 298
31	Центрально-Западная Атлантика	1 344 651	1 414 318	1 563 262	16,3	10,5	148 944
34	Центрально-Восточная Атлантика	4 086 427	4 362 180	4 795 171	17,3	9,9	432 991
37	Средиземное и Черное моря	1 421 025	1 314 386	1 236 999	-13,0	-5,9	-77 387
41	Юго-Западная Атлантика	2 082 248	2 427 872	1 563 957	-24,9	-35,6	-863 915
47	Юго-Восточная Атлантика	1 425 775	1 677 969	1 688 050	18,4	0,6	10 081
51	Западная часть Индийского океана	4 379 053	4 688 848	4 931 124	13,9	5,2	242 276
57	Восточная часть Индийского океана	5 958 972	6 359 691	6 387 659	7,2	0,4	27 968
61	Северо-Западная часть Тихого океана	20 698 014	22 057 759	22 411 224	7,7	1,6	353 465
67	Северо-Восточная часть Тихого океана	2 871 126	3 164 604	3 092 529	7,7	-2,3	-72 075
71	Центрально-Западная часть Тихого океана	11 491 444	12 625 068	12 742 955	10,9	0,9	117 887
77	Центрально-Восточная часть Тихого океана	1 881 996	1 675 065	1 656 434	-12,0	-1,1	-18 631
81	Юго-Западная часть Тихого Океана	613 701	551 534	474 066	-22,8	-14,0	-77 468
87	Юго-Восточная часть Тихого океана	10 638 882	7 702 885	6 329 328	-40,5	-17,8	-1 373 557
18, 48, 58, 88	Арктические и антарктические районы	188 360	243 677	278 753	48,0	14,4	35 076
<b>ВСЬ МИР</b>		<b>90 302 377</b>	<b>92 655 917</b>	<b>90 909 868</b>	<b>0,7</b>	<b>-1,9</b>	<b>-1 746 049</b>

# Пищевые цепи в океане



- 3. Разделение рыб по типам питания, плодовитости, стратегии размножения и наличию или отсутствию нерестовых миграций. Какие сочетания экологических особенностей позволяют тем или иным видам создавать крупные промысловые скопления. Охарактеризуйте по этим показателям наиболее важные объекты промыслового лова.

- ***Тип питания.***

- Питание преимущественно фитопланктоном и растительной пищей – белый амур, индийская катла, молочная рыба, перуанский анчоус. 2-й трофический уровень.
- Питание планктоном и мелкими ракообразными (крилем или креветкой) – сельди, сиги, путассу, минтай. 3-й трофический уровень.
- Хищники – акулы, тунцы, скумбрия, лососи, треска - 4-5-й уровни.
- ***Миграции*** – анадромные рыбы (тихоокеанские лососи, осетровые: калуга, атлантический осетр, зеленый осетр, китайский осетр), полуанадромные – выход только в эстуарии или пониженную соленость (русский осетр, сибирский осетр, севрюга, каспийская белуга). Катадромные рыбы – речные угри, молочная рыба, кефали, ряд окунеобразных, речная камбала.
- Морские рыбы, пресноводные рыбы.

- **Плодовитость** – луна-рыба – 300 млн икринок, тунцы – 30 млн, атлантический осетр – 8 млн. На другом полюсе - акулы – несколько штук детенышей. В обоих случаях **варианты K-стратегии** размножения (для популяции важны взрослые рыбы, выходящие из-под пресса хищников и неоднократно приносящие потомство в течение длительной жизни, позднее достижение половой зрелости). Преимущество в стабильных условиях среды.

**r-стратегия** – быстро-созревающие моноциклические рыбы (горбуша, кета, эфемерные карпозубые). Крупные икра и личинки с высокой выживаемостью. Преимущество в нестабильных условиях среды. Возможность быстрого увеличения численности от полного нуля взрослых особей (горбуша, фундулус, афиосемион). У горбуши четные и нечетные популяции генетически изолированы друг от друга.

## ОБЪЕМ ПРОДУКЦИИ МОРСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РЫБОЛОВСТВА – ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И РОДА

Научное название	Русское название/английское название ФАО	Производство, тонн			% изменения		Изменение, с 2015 до 2016 г. (тонны)
		Средний вылов, 2005-2014 годы	2015 год	2016 год	С 2005-2014 г. (в среднем) до 2016 г.	С 2015 до 2016 г.	
<i>Theragra chalcogramma</i>	Минтай/Alaska pollock (=walleye pollock)	2 952 134	3 372 752	3 476 149	17,8	3,1%	103 397
<i>Engraulis ringens</i>	Перуанский анчоус/Anchoveta (=Peruvian anchovy)	6 522 544	4 310 015	3 192 476	-51,1	-25,9%	-1 117 539
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Тунец полосатый/Skipjack tuna	2 638 124	2 809 954	2 829 929	7,3	0,7%	19 975
<i>Sardinella spp.<sup>a</sup></i>	Сардинеллы прочие/Sardinellas nei	2 281 285	2 238 903	2 289 830	0,4	2,3%	50 927
<i>Trachurus spp.<sup>a</sup></i>	Ставриды прочие/Jack and horse mackerels nei	2 463 428	1 738 352	1 743 917	-29,2	0,3%	5565
<i>Clupea harengus</i>	Сельдь атлантическая/Atlantic herring	2 111 101	1 512 174	1 639 760	-22,3	8,4%	127 586
<i>Scomber japonicus</i>	Скумбрия японская/Pacific chub mackerel	1 454 794	1 484 780	1 598 950	9,9	7,7%	114 170
<i>Thunnus albacares</i>	Тунец желтоперый/Yellowfin tuna	1 219 326	1 356 883	1 462 540	19,9	7,8%	105 657
<i>Gadus morhua</i>	Треска атлантическая/Atlantic cod	995 853	1 303 726	1 329 450	33,5	2,0%	25 724
<i>Engraulis japonicus</i>	Японский анчоус/Japanese anchovy	1 323 022	1 336 218	1 304 484	-1,4	-2,4%	-31 734
<i>Decapterus spp.<sup>a</sup></i>	Ставриды десятиперные (=ставриды сигарные) прочие/Scads nei	1 394 772	1 186 555	1 298 914	-6,9	9,5%	112 359
<i>Sardina pilchardus</i>	Сардина европейская/European pilchard (=sardine)	1 098 400	1 174 611	1 281 391	16,7	9,1%	106 780
<i>Trichiurus lepturus</i>	Рыба-сабля/Largehead hairtail	1 315 337	1 269 525	1 280 214	-2,7	0,8%	10 689
<i>Micromesistius poutassou</i>	Путассу северная/Blue whiting (=poutassou)	1 054 918	1 414 131	1 190 282	12,8	-15,8%	-223 849
<i>Scomber scombrus</i>	Скумбрия обыкновенная/Atlantic mackerel	822 081	1 247 666	1 138 053	38,4	-8,8%	-109 613
<i>Scomberomorus spp.<sup>a</sup></i>	Макрели прочие/Seerfishes nei	889 840	903 632	918 967	3,3	1,7%	15 335
<i>Dosidicus gigas</i>	Кальмар Гумбольдта/Jumbo flying squid	855 602	1 003 774	747 010	-12,7	-25,6%	-256 764
<i>Nemipterus spp.<sup>a</sup></i>	Нитеперые прочие/Threadfin breams nei	541 470	629 062	683 213	26,2	8,6%	54 151
<i>Brevoortia patronus</i>	Сельдь-менхэден/Gulf menhaden	464 165	536 129	618 719	33,3	15,4%	82 590

***Наиболее важные антропогенные факторы, влияющие на численность промысловых рыб.*** Почему во всех развитых странах промышленное рыболовство во внутренних водоемах и прибрежных акваториях морей и океанов заменяется рекреационным? Каковы общие перспективы промышленного рыболовства в обеспечении населения Земли продуктами питания и какая доля промышленных уловов уходит на производство рыбной муки и рыбьего жира для аквакультуры,

- **4 главных антропогенных фактора** – перелов, гидростроительство, химическое загрязнение среды, «генетическое загрязнение популяций» (результат искусственного разведения и аквакультуры). Иногда генетическое загрязнение рассматривают как один из вариантов загрязнения среды.
- Промышленное рыболовство во внутренних водах становится нерентабельным. Платная рыбалка дает больше дохода чем промышленный лов. Эта же закономерность захватывает и прибрежные участки морей индустриально развитых стран.
- Общая тенденция в промышленном рыболовстве – увеличение уловов достигается через переход на более низшие трофические уровни. Раньше ловили хищников, теперь их жертв, человек берет на себя те функции, которые раньше выполняли хищные рыбы и водные млекопитающие.
- Прирост продукции рыболовства отстает от темпов роста населения.

- В 1994 году производство рыбной муки достигло своего пика – 30 млн тонн (в эквиваленте живого веса). С тех пор годовые объемы колеблются, но в целом наблюдается тенденция к сокращению производства (2016 г. – 20 млн т). Все больше рыбной муки изготавливается из побочных продуктов рыбопереработки, которые раньше, как правило, шли в отходы. Подсчитано, что на побочные продукты переработки приходится от 25 до 35 процентов всего объема производства рыбной муки и рыбьего жира. Рыбная мука и рыбий жир до сих пор считаются наиболее питательными и усвояемыми ингредиентами применяемых в рыбоводстве кормов, но при этом наблюдается однозначная тенденция к сокращению их доли в составе комбинированных кормов для аквакультуры. (Технический доклад ФАО, 2018).

***Плодовитость рыб, естественная и промысловая смертность. Чем принципиально различаются эти два вида смертности. Какова продуктивность нативных (не подверженных промыслу) популяций. Откуда берется «дополнительная продукция» в виде промышленных уловов? Возможно ли регулярное безвозвратное изъятие «дополнительной продукции» без разрушения сложившейся экосистемы?***

- В природных популяциях - замкнутый круговорот веществ. Продуктивность нативной (неэксплуатируемой) популяции равна 0. Продуктивность экосистем лимитируется наиболее дефицитным компонентом (Закон Либиха).
- Естественная смертность не выносит пищевые элементы из экосистемы. Съеденная хищниками рыба не пропадает впустую, а содержащиеся в ней питательные элементы используются внутри сообщества организмов. Человек – также звено экосистемы, но до определенного предела. Массовый промышленный лов (как и уборка урожая с полей без внесения удобрений) может приводить к нарушениям трофических связей и деградации экосистемы (сукцессии - последовательной смене сообществ).

- **Основные «постулаты ихтиологии».** 1. Теория размножения. 2. Теория саморегуляции. 3. Концепция перелова. 4. Теория «неприкосновенного капитала». Дайте краткие характеристики этих «постулатов».

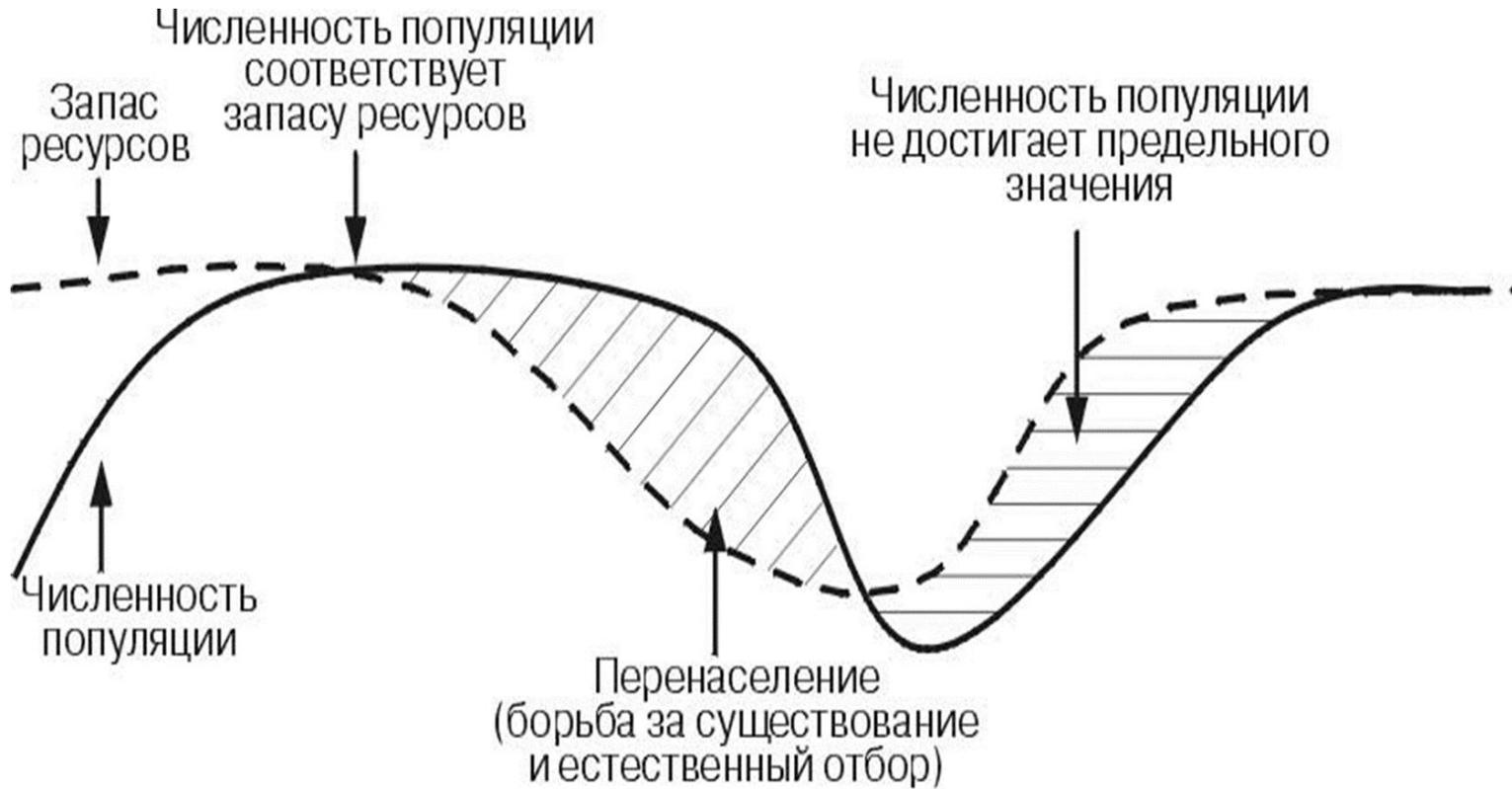
1. Теория размножения. Промысел будет иметь надёжную основу, если дать каждой рыбе хотя бы один раз отнереститься, чтобы обеспечить достаточный приплод (Бэр, 1856; цит. по: [Бэр, 1961]);

2. Теория саморегуляции. Промысел не оказывает влияние на популяцию, если не превышает её способностей к саморегуляции и ведётся в соответствии с биологически обоснованными правилами рыболовства [Никольский, 1974];

3. Концепция перелова. Перелов — это явление, вызванное слишком высокой интенсивностью промысла, которая проявляется в «мельчании» рыбы в улове и падении самой величины улова (Гейнке, 1896; цит. по: [Засосов, 1976]);

4. Теория «неприкосновенного капитала». Естественный запас рыб — это постоянная величина, неприкосновенный капитал, процентами от которого, отнюдь не затрагивая сам капитал, должен довольствоваться промысел.

- 8. Кривая численности популяции, ее возрастная структура. Кривые численности при различных значениях естественной и промысловой смертности. Что собой представляет уравнение Баранова? Каковы ограничения уравнения Баранова? Как изменяется наклон кривой Баранова под воздействием промысла, при нормировании интенсивности промысла, при введении промысловой длины и при ведении искусственного воспроизводства?



Кривая выживания — это линия, описывающая изменение численности поколения в течение его жизни. Форма кривой выживания определяется скоростью, с которой проходит убыль численности рыб, т.е. смертностью, а её положение — начальной численностью поколения  $N_0$  (рис. 2). Даже при отсутствии промысла численность рыб всегда снижается с возрастом.

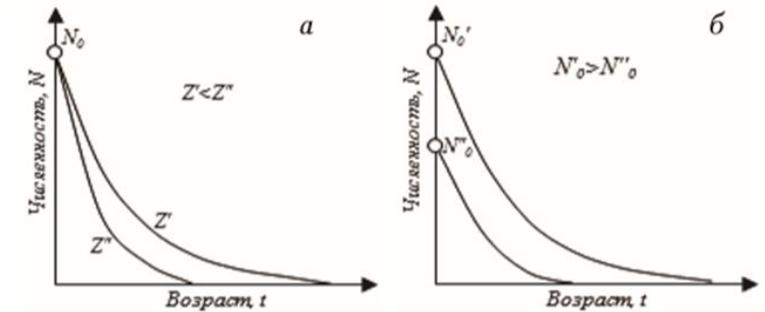


Рис. 2. Кривые выживания для различных значений смертности (а) и начальной численности поколения (б)

**«Предположим, что нерест рыб происходит ежегодно и из отложенного количества икры выводится и поступает в популяцию постоянное число мальков, равное, допустим, той же начальной численности  $N_0$ ».** Теоретически цель регуляции численности популяции через промысел направлена на то, чтобы не дать ей перейти в максимальную точку, за которой последует снижение. На практике промысел не уменьшает волны численности, а усиливает их, поскольку не может быть предсказан момент перелома кривой.

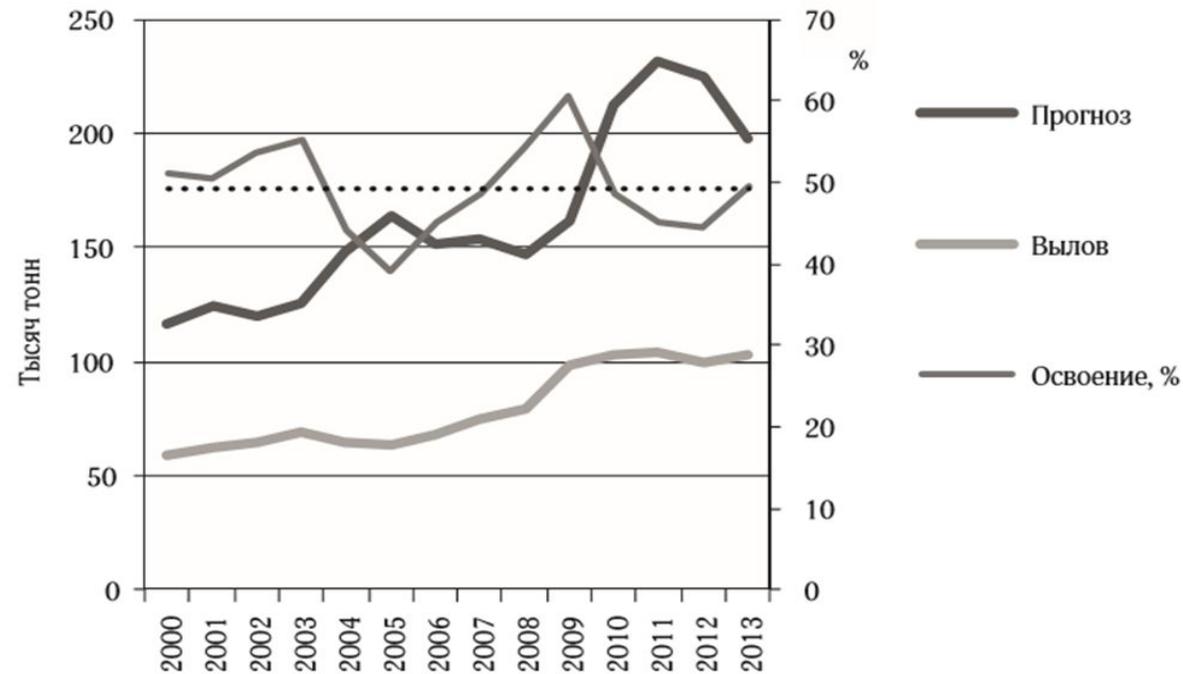


Рис. 1. Динамика вылова и освоения водных биоресурсов в пресноводных водных объектах Российской Федерации в 2000–2013 гг.

Увеличения и уменьшения ОДУ идут с запозданием на 1-2 года от фактических изменений численности и не могут быть регуляторами плотности популяции. Результат – освоение ОДУ находится на уровне 10-30%. Вторая причина неосвоения ОДУ – «экономический перелом» наступает раньше биологического, исключение – высокоценные анадромные виды, создающие промысловые скопления во время анадромных миграций.

# Кривая Баранова

В целях математического описания кривой населения Ф.И. Баранов применил простой подход. Он принял, что если скорость уменьшения численности рыб характеризуется некоторой постоянной величиной, то её динамику можно описать дифференциальным уравнением:

$$\frac{dN}{dt} = -ZN, \quad (1)$$

где  $Z$  — коэффициент пропорциональности, одинаковый для всех возрастных групп.

**Смысл уравнения** заключается в том, что за элементарный (очень маленький) промежуток времени  $dt$  численность рыб уменьшается на величину  $dN$ , равную  $Z$ -й части от фактической численности  $N$ .

Интегрирование данного выражения даёт описывающее динамику численности рыб выражение:

$$N_t = N_0 e^{-Zt}. \quad (2)$$

Это соотношение носит название **уравнения Баранова**, где использованный выше коэффициент пропорциональности  $Z$  называется мгновенным коэффициентом общей смертности.

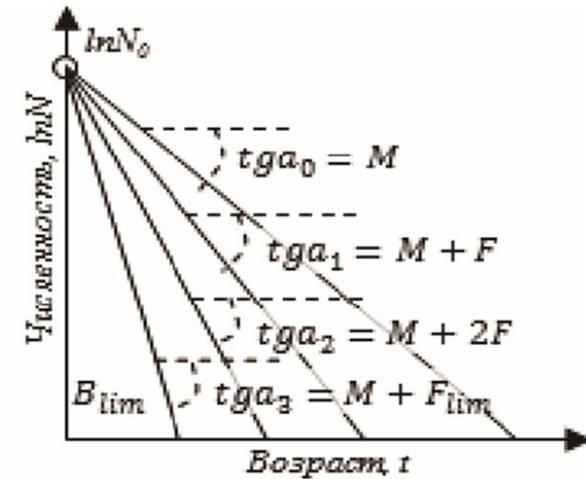
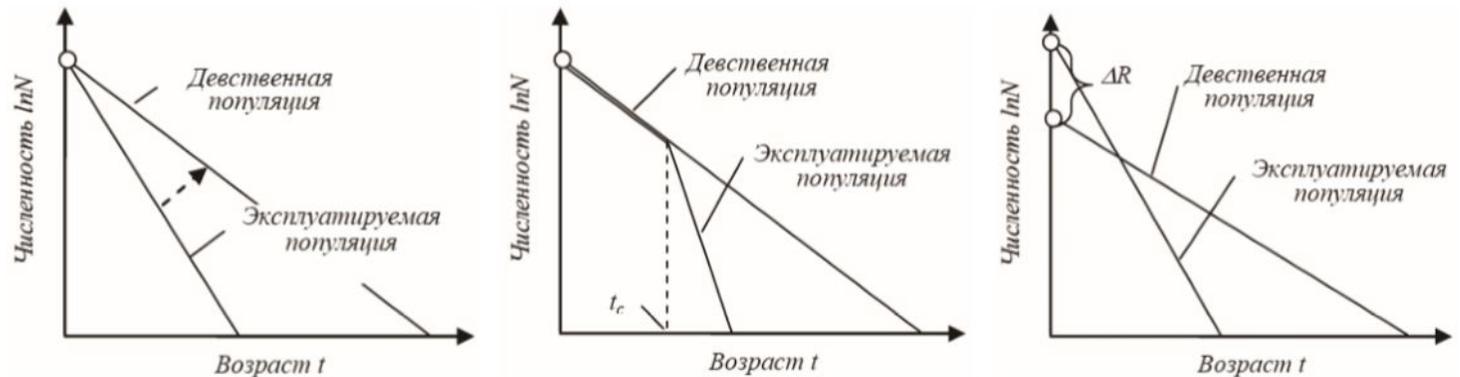


Рис. 7. Изменение угла наклона кривой выживания популяции под воздействием промысла



а) эффект нормирования интенсивности промысла

б) эффект введения промысловой меры

в) эффект искусственного воспроизводства

Рис. 11. Характер изменения кривых населения популяции в связи с применением различных методов охраны рыбных запасов

- «Как долго может существовать такая популяция в условиях эксплуатации? Очевидно, что бесконечно, если численность пополнения и скорость уменьшения численности будут оставаться постоянными. Но переход из девственного неэксплуатируемого состояния в новое стабильное займет число лет, равное количеству возрастных групп в популяции. Последствием любого изменения интенсивности рыболовства будет, согласно уравнению Баранова, закономерное изменение угла наклона кривой населения. При этом, если сохраняются условия стабилизации, популяция всегда будет приходить в стабильное состояние давая, кстати, некоторую постоянную величину улова!».

«Возникает вопрос: значит ли это, что промысел может изменяться неограниченно? Очевидно, нет. Рано или поздно интенсивность лова может оказаться настолько высокой, что угол наклона кривой выживания (населения) достигнет такого значения ( $M+Flim$ ), что численность популяции снизится до величины  $Blim$ , когда оставшиеся родители уже не смогут отложить достаточное количество икры. Наступит явление, называемое «перелом по пополнению». Если численность пополнения зафиксирована на этом более низком уровне, то и популяция придёт в новое стабильное состояние, характеризующееся меньшей величиной запаса».

*Может быть и иной вариант – снижение возраста исчезновения населения ниже возраста наступления половой зрелости.*

- 9. В чем различия между максимальным устойчивым уловом  $MSY$  и максимальным экономически-эффективным уловом  $MEY$ ? Почему  $MSY$  обычно выше  $MEY$  и всегда ли отмечается такая закономерность?