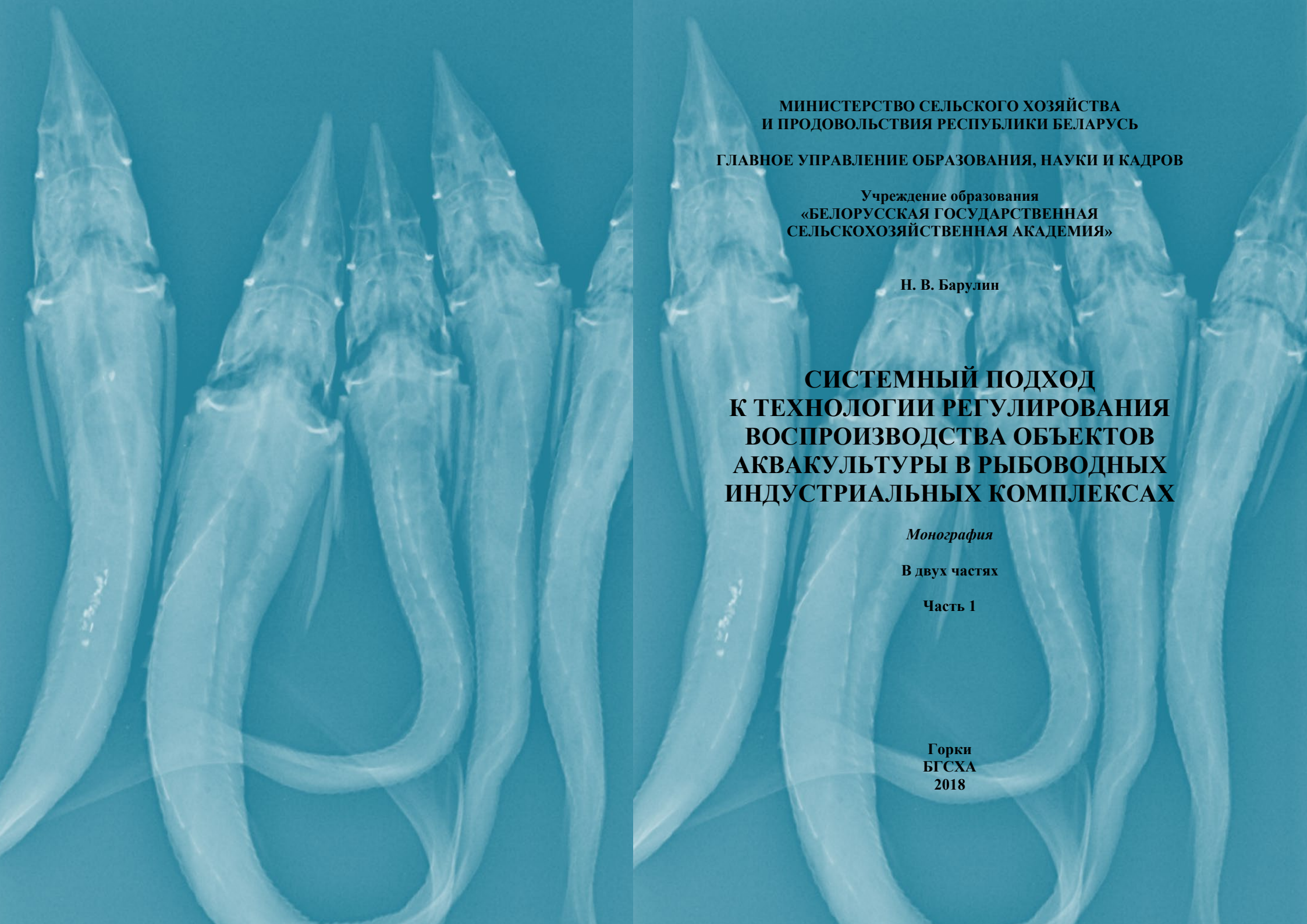




МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Н. В. Барулин

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД
К ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ
ВОСПРОИЗВОДСТВА ОБЪЕКТОВ
АКВАКУЛЬТУРЫ В РЫБОВОДНЫХ
ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ**

Монография

В двух частях

Часть 1

Горки
БГСХА
2018

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Н. В. Барулин

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД
К ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ
ВОСПРОИЗВОДСТВА ОБЪЕКТОВ
АКВАКУЛЬТУРЫ В РЫБОВОДНЫХ
ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ**

Монография

В двух частях

Часть 1

Горки
БГСХА
2018

УДК 639.3:001.895

Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах. В 2 ч. Ч. 1 / Н. В. Барулин. – Горки : БГСХА, 2018. – 268 с. : ил. – ISBN 978-985-467-874-0.

Изложены научно-методологические подходы к системному подходу технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах.

Для специалистов в области ихтиологии и аквакультуры, аспирантов, магистрантов, студентов вузов, слушателей института повышения квалификации и переподготовки кадров.

Табл. 113. Ил. 387. Библиогр.: 422 назв. Прил. 3.

Печатается по решению Научно-технического совета
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Протокол № 2 от 08.02.2018 г.

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор Н. А. Садовов;
доктор сельскохозяйственных наук, профессор Е. В. Таразевич

ISBN 978-885-467-874-0 (ч. 1)
ISBN 978-985-467-873-3

© Барулин Н. В., 2018

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2018

ВВЕДЕНИЕ

Аквакультура – это вид деятельности по разведению, содержанию и выращиванию рыб, других водных животных и растений, осуществляемой под контролем человека, с целью пополнения промысловых запасов водных биоресурсов или получения товарной продукции [162].

Потребление рыбы и продуктов ее переработки – важный показатель уровня и качества жизни населения. Потребность в этих продуктах удовлетворяется рыбохозяйственным комплексом, представляющим собой сложный многоотраслевой производственный механизм [292, 169].

В условиях, когда уловы океанической рыбы и других морепродуктов сокращаются, а рыбные запасы внутренних водоемов находятся в критическом состоянии и поддерживаются в основном за счет искусственного воспроизводства, единственным надежным источником увеличения объемов пищевой рыбопродукции является аквакультура – культивирование рыб, других водных животных и растений в контролируемых и управляемых человеком условиях [107].

Аквакультура включает в себя широкий диапазон разновидностей объектов и методов, начиная от простых систем производства (маленьких частных водоемов в тропических странах для выращивания карпа), заканчивая современными установками замкнутого водоснабжения для выращивания ценных видов рыб, с ежегодной производительностью до 3000 т осетрового мяса и 10 т осетровой икры [271, 380].

В настоящее время широкое развитие получила аквакультура омаров [205], креветок [198], устриц [315], а также осетровых, лососевых и прочих пресноводных рыб.

Аквакультура имеет два основных направления: первое – товарная аквакультура; второе – искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов.

В странах СНГ товарное развитие аквакультуры происходит по следующим направлениям: пастбищная аквакультура, прудовая аквакультура, индустриальная аквакультура, марикультура, рекреационная аквакультура [292, 169, 89].

Аквакультура в Республике Беларусь должна стать мощным сектором сельского хозяйства и продовольствия с целью удовлетворения

прежде всего внутреннего спроса на белковую продукцию. Например, в Китае, который является наиболее плотно заселенной страной в мире, аквакультура ориентирована на удовлетворение внутреннего спроса на продовольствие. В настоящий момент Китай стал всемирным производителем продукции аквакультуры, который выращивает 70 % всей мировой продукции [32].

Аквакультура – это важный сектор агропромышленного производства в большинстве развивающихся стран мира. Однако в Беларуси в годы промышленного спада, в начале 90-х гг., производство товарной рыбы в Беларуси снизилось с 18,5 тыс. т (1989 г.) до 3,9 тыс. т и фактически базировалось на монокультуре карпа [105]. По этой причине Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы предусмотрено значительное увеличение объемов выращивания товарной рыбной продукции. Вместе с тем дальнейшее развитие аквакультуры Беларуси невозможно без освоения и внедрения инновационных технологических направлений, одними из которых являются рыбоводные индустриальные комплексы, работающие на принципах установок замкнутого водоснабжения и выращивания в них новых и ценных объектов рыбоводства.

Аквакультура ценных видов рыб – это сложный технологический процесс, в котором традиционно слабым звеном является этап искусственного воспроизводства. Поэтому исследования, посвященные изучению и повышению эффективности технологии искусственного воспроизводства, имеют большое научно-практическое значение.

Поскольку население Земли неуклонно продолжает расти, а, по прогнозам специалистов, к 2050 г. его численность составит 9–10 млрд., рыба и морепродукты станут одними из важнейших источников питания, которые будут пользоваться всеобщим спросом у населения. Поэтому область аквакультуры должна расширяться, чтобы в полной мере удовлетворить спрос населения на белковую продукцию [380].

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ

1.1. Мировое производство продукции аквакультуры

В начале 80-х годов XX ст. наблюдалось резкое увеличение объема производимой рыбной продукции. К 2001 г. этот объем достиг 130,2 млн. т, при этом существенная часть этих показателей приходится на аквакультуру. Ежегодный рост производимой рыбной продукции за счет рыболовства составил 1,2 %, тогда как в области аквакультуры этот показатель составил 9,1 %. Следует отметить, что на долю азиатской аквакультуры в начале 2000-х годов приходилось 88,5 % всей производимой продукции, а на долю европейской – только 3,4 % [380].

Большая часть продукции, произведенной в условиях аквакультуры, выращивается в пресной воде [398]. При этом в 2004 г. только в одних заводских условиях было произведено 13,9 млн. т. К примеру, производство в промышленных комплексах осетрового мяса в 2002 г. составило 3,8 тыс. т/год, тогда как в 2004 г. – 15,5 тыс. т [269, 270].

Производство продукции аквакультуры увеличивается с каждым годом [49]. К примеру, если в 1961 г. в условиях аквакультуры производилось только 1,95 млн. т продукции, то к 2015 г. этот показатель достиг 106 млн. т, т. е. за 54 года произошло увеличение производства в условиях аквакультуры более чем в 54 раза. Для сравнения обратимся к статистическим данным о производстве мяса в условиях животноводства [48]. Так, если в 1961 г. в мире было произведено 140,97 млн. т мяса, то в 2015 г. его было произведено 619,06 млн. т, т. е. за 54 года рост производства увеличился в 4,39 раз (рис. 1.1).

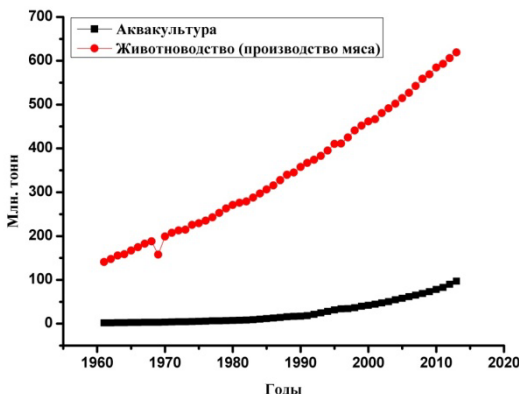


Рис. 1.1. Мировое производство продукции аквакультуры и животноводства (мясо убойных животных)

Конечно, в абсолютном производстве продукции аквакультуры не может оказать конкуренцию животноводству. Однако если сравнить относительный темп роста продукции, то аквакультура существенно опережает производство мяса в животноводстве (рис. 1.2).

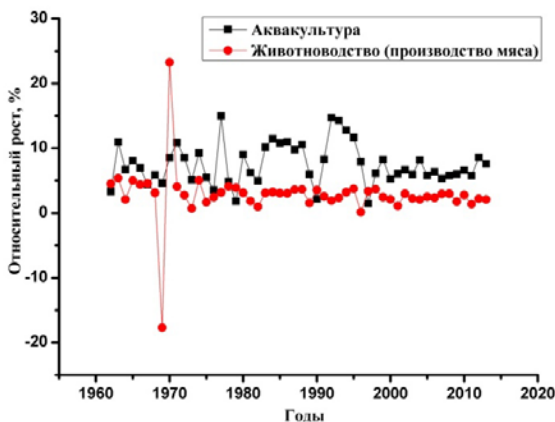


Рис. 1.2. Темп относительного роста мирового производства продукции аквакультуры и животноводства (мясо убойных животных)

В настоящее время Азия сохраняет однозначные лидирующие позиции по производству продукции аквакультуры. В 2015 г. на этом континенте было произведено более 97,5 млн. т продукции, или 92,04 % от всего мирового производства (рис. 1.3).

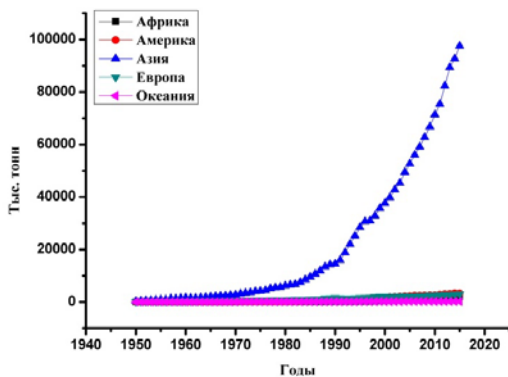


Рис. 1.3. Производство продукции аквакультуры в континентах

Среди остальных континентов лидирующее место занимает Америка, далее идут Европа, Африка, Океания (рис. 1.4).

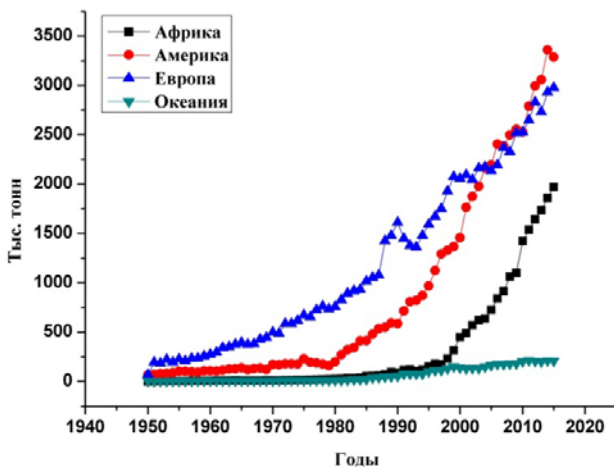


Рис. 1.4. Темп относительного роста производства продукции аквакультуры в континентах

В десятку лучших аквакультурных производителей мира входят 8 азиатских стран, одна европейская и одна африканская: Китай, Индонезия, Индия, Вьетнам, Филиппины, Бангладеш, Южная Корея, Норвегия, Египет, Япония. Республика Беларусь по итогам 2015 г. занимает 77-е место из 194 стран.

Если рассмотреть современное производство продукции аквакультуры по странам континентов, то мы видим (табл. 1.1), что в Африке в десятку лучших аквакультурных производителей входят Египет, Нигерия, Занзибар, Уганда, Гана, Замбия, Мадагаскар, Кения, Тунис, Танзания. Устойчивое увеличение относительного темпа роста продукции аквакультуры демонстрируют Занзибар, Замбия, Руанда, Мадагаскар, Гана, Малави, Уганда (табл. 1.2).

Таблица 1.1. Производство продукции аквакультуры в Африке, т

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7
Алжир	1759	2246	2644	2193	2411	1333

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Ангола	310	310	310	310	305	872
Бенин	364	400	500	667	1425	1270
Ботсвана	—	—	—	—	—	120
Буркина-Фасо	370	305	302	320	300	280
Бурунди	17	62	160	165	165	1326
Камерун	570	571	840	840	840	840
Центральная Африканская Республика	170	170	182	180	180	180
Чад	3	3	3	3	3	3
Конго	2970	2970	2869	2869	2871	2870
Кот-д'Ивуар	1700	3394	3720	3720	3750	3800
Египет	919585	986820	1017738	1097544	1137091	1174831
Экваториальная Гвинея	15	17	15	15	15	15
Эфиопия	25	25	38	45	86	90
Габон	130	130	48	46	45	45
Гамбия	25	33	33	33	35	35
Гана	10200	19092	27450	32513	38545	44610
Гвинея	185	200	250	250	250	250
Кения	12194	22295	21888	23901	24098	18658
Лесото	300	300	400	500	901	1001
Либерия	20	20	30	30	40	40
Ливия	110	10	10	10	10	10
Мадагаскар	10886	10544	9988	12549	15440	22694
Малави	2631	2833	3232	3705	4742	4974
Мали	2083	2083	987	2205	1953	2400
Маврикий	568	537	512	397	778	772
Майотта	76	44	105	109	120	100
Марокко	742	617	692	988	1189	1050
Мозамбик	864	796	604	721	1179	1133
Намибия	675	564	694	678	640	645
Нигер	70	85	100	200	329	300
Нигерия	200535	221128	253898	278706	313231	316727
Руанда	100	265	506	1165	1584	4847
Реюньон	150	115	115	90	65	65
Сенегал	80	335	399	707	1012	1212
Сьерра-Леоне	75	75	75	75	75	75
Южная Африка	5148	5572	5999	6010	6160	6350
Южный Судан	—	—	20	20	20	20
Судан	2000	2000	1600	2500	2000	4500
Свазиленд	209	100	100	100	100	100
Танзания	7338	7249	9917	10166	10317	10742
Того	100	20	20	23	25	58

Окончание табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Тунис	5424	8126	8577	12184	11279	14425
Уганда	95000	85713	95906	98063	111023	117590
Замбия	10290	10530	12988	20271	19281	22754
Занзибар	125157	130400	150886	110445	133031	172494
Зимбабве	2782	7682	8090	10090	10600	10600

Таблица 1.2. Относительный рост производства продукции аквакультуры
в Африке, %

Страна	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6
Алжир	24,3	16,3	-18,6	9,5	-57,6
Ангола	0,0	0,0	0,0	-1,6	96,3
Бенин	9,4	22,2	28,6	72,5	-11,5
Буркина-Фасо	-19,3	-1,0	5,8	-6,5	-6,9
Бурунди	113,9	88,3	3,1	0,0	155,7
Камерун	0,2	38,1	0,0	0,0	0,0
Центральная Африканская Республика	0,0	6,8	-1,1	0,0	0,0
Чад	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Конго	0,0	-3,5	0,0	0,1	0,0
Кот-д'Ивуар	66,5	9,2	0,0	0,8	1,3
Египет	7,1	3,1	7,5	3,5	3,3
Экваториальная Гвинея	12,5	-12,5	0,0	0,0	0,0
Эфиопия	0,0	41,3	16,9	62,6	4,5
Габон	0,0	-92,1	-4,3	-2,2	0,0
Гамбия	27,6	0,0	0,0	5,9	0,0
Гана	60,7	35,9	16,9	17,0	14,6
Гвинея	7,8	22,2	0,0	0,0	0,0
Кения	58,6	-1,8	8,8	0,8	-25,4
Лесото	0,0	28,6	22,2	57,2	10,5
Либерия	0,0	40,0	0,0	28,6	0,0
Ливия	-166,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Мадагаскар	-3,2	-5,4	22,7	20,7	38,0
Малави	7,4	13,2	13,6	24,6	4,8
Мали	0,0	-71,4	76,3	-12,1	20,5
Маврикий	-5,6	-4,8	-25,3	64,9	-0,8
Майотта	-53,3	81,9	3,7	9,6	-18,2
Марокко	-18,4	11,5	35,2	18,5	-12,4
Мозамбик	-8,2	-27,4	17,7	48,2	-4,0
Намибия	-17,9	20,7	-2,3	-5,8	0,8
Нигер	19,4	16,2	66,7	48,8	-9,2
Нигерия	9,8	13,8	9,3	11,7	1,1

1	2	3	4	5	6
Руанда	90,4	62,5	78,9	30,5	101,5
Реюньон	-26,4	0,0	-24,4	-32,3	0,0
Сенегал	122,9	17,4	55,7	35,5	18,0
Сьерра-Леоне	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Южная Африка	7,9	7,4	0,2	2,5	3,0
Судан	0,0	-22,2	43,9	-22,2	76,9
Свазиленд	-70,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Танзания	-1,2	31,1	2,5	1,5	4,0
Того	-133,3	0,0	14,0	8,3	79,5
Тунис	39,9	5,4	34,7	-7,7	24,5
Уганда	-10,3	11,2	2,2	12,4	5,7
Замбия	2,3	20,9	43,8	-5,0	16,5
Занзибар	4,1	14,6	-31,0	18,6	25,8
Зимбабве	93,7	5,2	22,0	4,9	0,0

В Америке (табл. 1.3) в десятку лучших аквакультурных производителей входят Чили, Бразилия, Эквадор, Соединенные Штаты Америки, Мексика, Канада, Колумбия, Перу, Гондурас, Куба. Устойчивое увеличение относительного темпа роста продукции аквакультуры демонстрируют Боливия, Доминиканская Республика, Эквадор, Гаити, Мексика, Парагвай, Суринам (табл. 1.4).

Таблица 1.3. Производство продукции аквакультуры в Америке, т

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7
Аргентина	2654	3193	2958	3825	4008	3663
Барбадос	2	10	10	14	20	20
Белиз	7411	5102	5880	7150	7213	5203
Боливия	856	966	1060	1076	1400	2988
Бразилия	411777	436084	480880	477752	564182	575260
Канада	162341	169706	184910	168015	139732	187374
Чили	713241	969539	1075547	1045718	1227359	1057742
Колумбия	80367	83681	89654	89398	92002	95857
Коста-Рика	26839	27714	27287	30352	26766	22502
Куба	31422	24598	26179	29578	30544	30550
Доминика	11	6	6	6	6	6
Доминиканская Республика	1280	2148	1032	1485	2082	2185
Эквадор	272521	309502	322455	332182	368207	426410
Сальвадор	4500	4884	5322	3278	1663	6743

Окончание табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7
Ренч Гвиана	4	4	4	3	3	3
Гваделупа	11	12	12	12	25	25
Гватемала	22792	21468	17743	17047	20762	22049
Гайана	488	263	261	221	367	418
Гаити	360	600	720	800	1010	1220
Гондурас	27509	50295	52436	53100	61750	55100
Ямайка	3950	1150	649	836	710	665
Мартиника	82	50	50	55	72	49
Мексика	126238	137128	143747	171792	194230	211622
Никарагуа	16972	15766	24351	26407	30566	24560
Панама	6398	7388	7474	8335	10335	9150
Парагвай	2957	4929	5400	6450	7500	8481
Перу	89021	92200	72293	125693	115271	90976
Пуэрто-Рико	17	20	20	20	20	20
Сент-Китс Невис	1	1	1	1	1	1
Санкт-Люсия	21	22	28	44	36	26
Сен-Пьер Микелон	-	2	3	5	59	28
Суринам	71	96	74	79	83	122
Тринидад и Тобаго	14	6	7	8	5	5
Соединенные Штаты Америки	496699	397292	420386	429011	421189	425973
Уругвай	85	78	91	218	215	204
Виргинские острова США	10	10	10	10	8	8
Венесуэла	18225	23954	26115	26830	30726	18911

Таблица 1.4. Относительный рост производства продукции аквакультуры в Америке, %

Страна	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6
Аргентина	18,4	-7,6	25,6	4,7	-9,0
Барбадос	133,3	0,0	33,3	35,3	0,0
Белиз	-36,9	14,2	19,5	0,9	-32,4
Боливия	12,1	9,3	1,5	26,2	72,4
Бразилия	5,7	9,8	-0,7	16,6	1,9
Канада	4,4	8,6	-9,6	-18,4	29,1
Чили	30,5	10,4	-2,8	16,0	-14,8
Колумбия	4,0	6,9	-0,3	2,9	4,1
Коста-Рика	3,2	-1,6	10,6	-12,6	-17,3
Куба	-24,4	6,2	12,2	3,2	0,0
Доминика	-58,8	0,0	0,0	0,0	0,0

Окончание табл. 1.4

1	2	3	4	5	6
Доминиканская Республика	50,6	-70,2	36,0	33,5	4,8
Эквадор	12,7	4,1	3,0	10,3	14,6
Сальвадор	8,2	8,6	-47,5	-65,4	120,9
Ренч Гвиана	0,0	0,0	-28,6	0,0	0,0
Гваделупа	8,7	0,0	0,0	70,3	0,0
Гватемала	-6,0	-19,0	-4,0	19,7	6,0
Гайана	-59,9	-0,8	-16,6	49,7	13,0
Гаити	50,0	18,2	10,5	23,2	18,8
Гондурас	58,6	4,2	1,3	15,1	-11,4
Ямайка	-109,8	-55,7	25,2	-16,3	-6,5
Мартиника	-48,5	0,0	9,5	26,8	-38,0
Мексика	8,3	4,7	17,8	12,3	8,6
Никарагуа	-7,4	42,8	8,1	14,6	-21,8
Панама	14,4	1,2	10,9	21,4	-12,2
Парагвай	50,0	9,1	17,7	15,1	12,3
Перу	3,5	-24,2	53,9	-8,7	-23,6
Пуэрто-Рико	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Сент-Китс и Невис	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Санкт-Люсия	4,7	24,0	44,4	-20,0	-32,3
Сен-Пьер и Микелон	200,0	40,0	50,0	168,8	-71,3
Суринам	29,9	-25,9	6,5	4,9	38,0
Тринидад и Тобаго	-80,0	15,4	13,3	-46,2	0,0
Соединенные Штаты Америки	-22,2	5,6	2,0	-1,8	1,1
Уругвай	-8,6	15,4	82,2	-1,4	-5,3
Виргинские острова США	0,0	0,0	0,0	-22,2	0,0
Венесуэла	27,2	8,6	2,7	13,5	-47,6

В Азии (табл. 1.5) в десятку лучших аквакультурных производителей входят Китай, Индонезия, Индия, Вьетнам, Филиппины, Бангладеш, Южная Корея, Япония, Мьянма, Таиланд. Устойчивое увеличение относительного темпа роста продукции аквакультуры демонстрируют Армения, Бангладеш, Бруней Даруссалам, Камбоджа, Китай, Киргизия, Непал, Саудовская Аравия, Шри-Ланка, Таджикистан, Турция, Узбекистан, Вьетнам. (табл. 1.6).

Таблица 1.5. Производство продукции аквакультуры в Азии, т

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7
Армения	5000	6300	8850	11700	13925	15130
Азербайджан	1000	517	366	325	305	561
Бахрейн	3	3	2	0-	6	6
Бангладеш	1308515	1523759	1726066	1859808	1956925	2060408
Бутан	46	75	78	70	139	149
Бруней Даруссалам	500	530	550	561	711	983
Камбоджа	60000	72000	74000	90000	120055	143000
Китай	47829610	50173139	53942924	57113175	58797258	61536375
Китай	4338	3438	4093	3764	3897	3894
Кипр	4116	4667	4334	5339	4835	5459
Грузия	470	650	650	650	670	670
Индия	3790021	3677584	4213980	4555209	4884021	5238019
Индонезия	6277924	7937072	9599765	13301408	14375287	15649311
Иран	220034	247262	296514	325325	320174	346118
Ирак	20320	16290	25040	14060	26625	24803
Израиль	19895	20817	20342	22252	20166	20855
Япония	1151101	907972	1073821	1027951	1021841	1103235
Иордания	541	575	600	720	885	885
Казахстан	224	858	738	811	410	730
КНДР	508785	508800	508910	508975	553945	553950
Южная Корея	1377233	1499335	1509226	1533446	1567442	1676489
Кувейт	310	319	309	303	297	262
Киргизия	352	394	297	300	578	1068
Лаос	82100	95600	101895	108000	108360	108500
Ливан	1180	1280	1280	1280	1125	1125
Афганистан	1050	1050	1050	1050	1100	1150
Малайзия	581243	526692	634876	530702	521014	506965
Мьянма	852791	819156	888369	930780	964256	999630
Непал	28230	30950	34500	36020	43400	48000
Оман	127	157	168	353	282	170
Пакистан	140101	141935	142832	148120	148381	151174
Палестина	280	189	269	284	240	276
Филиппины	2545967	2608120	2541965	2373386	2337605	2348159
Катар	36	36	36	56	56	10
Саудовская Аравия	26374	16076	12737	9266	23880	30000
Сингапур	3524	4008	3627	5165	4971	6456
Шри-Ланка	8058	11912	8840	30881	34220	36038
Сирийская Арабская Республика	8610	7500	6200	4000	3000	2500

1	2	3	4	5	6	7
Провинция Тайвань (Китай)	315226	319245	347900	348916	341373	314013
Таджикистан	517	537	275	404	444	450
Таиланд	1286122	1201455	1272100	997515	897863	897096
Восточный Тимор	1552	1556	1556	1556	1556	1556
Турция	167721	188890	212805	233864	234302	238964
Туркменистан	26	26	26	30	30	30
Объединенные Арабские Эмираты	198	415	420	780	788	790
Узбекистан	6654	8722	14833	23835	29276	36898
Вьетнам	2701317	2859581	3103351	3220071	3354342	3450200
Йемен	150	150	100	–	0	–

Таблица 1.6. Относительный рост производства продукции аквакультуры в Азии, %

Страна	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6
Армения	23,0	33,7	27,7	17,4	8,3
Азербайджан	–63,7	–34,2	–11,9	–6,3	59,1
Бангладеш	15,2	12,5	7,5	5,1	5,2
Бутан	47,9	3,9	–10,8	66,0	6,9
Бруней Даруссалам	5,8	3,7	2,0	23,6	32,1
Камбоджа	18,2	2,7	19,5	28,6	17,4
Китай	4,8	7,2	5,7	2,9	4,6
Китай	–23,1	17,4	–8,4	3,5	–0,1
Кипр	12,5	–7,4	20,8	–9,9	12,1
Грузия	32,1	0,0	0,0	3,0	0,0
Индия	–3,0	13,6	7,8	7,0	7,0
Индонезия	23,3	19,0	32,3	7,8	8,5
Иран	11,7	18,1	9,3	–1,6	7,8
Ирак	–22,0	42,3	–56,2	61,8	–7,1
Израиль	4,5	–2,3	9,0	–9,8	3,4
Япония	–23,6	16,7	–4,4	–0,6	7,7
Иордания	6,1	4,3	18,2	20,6	0,0
Казахстан	117,2	–15,0	9,4	–65,7	56,1
КНДР	0,0	0,0	0,0	8,5	0,0
Южная Корея	8,5	0,7	1,6	2,2	6,7
Кувейт	2,9	–3,2	–2,0	–2,0	–12,5
Киргизия	11,3	–28,1	1,0	63,3	59,5

Окончание табл. 1.6

1	2	3	4	5	6
Лаос	15,2	6,4	5,8	0,3	0,1
Ливан	8,1	0,0	0,0	-12,9	0,0
Афганистан	0,0	0,0	0,0	4,7	4,4
Малайзия	-9,8	18,6	-17,9	-1,8	-2,7
Мьянма	-4,0	8,1	4,7	3,5	3,6
Непал	9,2	10,8	4,3	18,6	10,1
Оман	21,1	6,8	71,0	-22,4	-49,6
Пакистан	1,3	0,6	3,6	0,2	1,9
Палестина	-38,8	34,9	5,4	-16,8	14,0
Филиппины	2,4	-2,6	-6,9	-1,5	0,5
Катар	0,0	0,0	43,5	0,0	-139,4
Саудовская Аравия	-48,5	-23,2	-31,6	88,2	22,7
Сингапур	12,9	-10,0	35,0	-3,8	26,0
Шри-Ланка	38,6	-29,6	111,0	10,3	5,2
Сирийская Арабская Республика	-13,8	-19,0	-43,1	-28,6	-18,2
Провинция Тайвань (Китай)	1,3	8,6	0,3	-2,2	-8,3
Таджикистан	3,8	-64,5	38,0	9,4	1,3
Таиланд	-6,8	5,7	-24,2	-10,5	-0,1
Восточный Тимор	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Турция	11,9	11,9	9,4	0,2	2,0
Туркменистан	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0
Объединенные Арабские Эмираты	70,8	1,2	60,0	1,0	0,3
Узбекистан	26,9	51,9	46,6	20,5	23,0
Вьетнам	5,7	8,2	3,7	4,1	2,8

В Европе (табл. 1.7) в десятку лучших аквакультурных производителей входят Норвегия, Испания, Великобритания, Франция, Российская Федерация, Италия, Греция, Фарерские острова, Нидерланды, Ирландия. Устойчивое увеличение относительного темпа роста продукции аквакультуры демонстрируют Нормандские острова, Хорватия, Эстония, Венгрия, Латвия, Российская Федерация (табл. 1.8).

Республика Беларусь по итогам 2015 г. занимает 23-е место среди 40 европейских стран.

Таблица 1.7. Производство продукции аквакультуры в Европе, т

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Албания	2504	2022	2034	2090	2424	1595
Австрия	2167	2904	3126	3237	3390	3503
Беларусь	16265	16293	15499	13548	10658	9131
Бельгия	539	101	277	212	214	82
Босния и Герцеговина	7620	4970	3638	2924	3397	4451
Болгария	7921	5527	5975	12152	11172	13537
Нормандские острова	1130	1091	882	972	1317	1768
Хорватия	13991	12846	10440	12019	13149	15571
Чехия	20420	21010	20763	19357	20135	20200
Дания	36175	35918	34586	37707	39399	35867
Эстония	573	388	581	733	874	799
Фарерские острова	47575	60473	76564	75909	86454	80600
Финляндия	11772	11275	12659	13613	13465	14877
Франция	203402	194111	205548	200596	204300	206800
Германия	40694	39141	26360	25289	26032	29909
Греция	121244	110809	110973	114000	104663	106118
Венгрия	14245	15584	15133	14918	15326	17337
Исландия	5050	5308	7431	7053	8434	8430
Ирландия	46490	44266	36102	34198	31200	39650
Италия	153494	164151	137041	140879	148730	148763
Латвия	549	546	575	643	686	863
Литва	3191	3280	3582	4211	3836	4450
Македония	1491	1368	1306	1340	1214	991
Мальта	2916	2127	4336	5266	4917	5913
Молдова	8800	9000	9080	9080	9084	9080
Черногория	740	840	811	811	859	813
Нидерланды	66945	43800	46129	46525	63039	62920
Норвегия	1019802	1143893	1321119	1247865	1332497	1380890
Польша	30751	29037	32261	35208	40110	36971
Португалия	8225	9165	10318	10067	11339	9322
Румыния	8981	8353	10004	10146	10680	11042
Российская Федерация	120998	129651	146455	155540	163600	153243
Сербия	8155	7629	7662	5936	7168	7387
Словакия	687	814	1286	1085	1228	1248
Словения	778	1397	1154	1226	1396	1607
Испания	252352	271963	264163	223710	282242	289821
Швеция	10644	13441	13757	13366	12899	12020
Швейцария	1261	1466	1471	1593	1593	1593
Украина	22865	23553	23720	23175	24434	21872
Великобритания	201364	198968	205595	203263	214707	206834

**Таблица 1.8. Относительный рост производства продукции аквакультуры
в Европе, %**

Страна	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6
Албания	-21,3	0,6	2,7	14,8	-41,3
Австрия	29,1	7,4	3,5	4,6	3,3
Беларусь	0,2	-5,0	-13,4	-23,9	-15,4
Бельгия	-136,9	93,1	-26,6	0,9	-89,2
Босния и Герцеговина	-42,1	-30,9	-21,8	15,0	26,9
Болгария	-35,6	7,8	68,2	-8,4	19,1
Нормандские острова	-3,5	-21,2	9,7	30,1	29,2
Хорватия	-8,5	-20,7	14,1	9,0	16,9
Чехия	2,8	-1,2	-7,0	3,9	0,3
Дания	-0,7	-3,8	8,6	4,4	-9,4
Эстония	-38,5	39,8	23,1	17,5	-9,0
Фарерские острова	23,9	23,5	-0,9	13,0	-7,0
Финляндия	-4,3	11,6	7,3	-1,1	10,0
Франция	-4,7	5,7	-2,4	1,8	1,2
Германия	-3,9	-39,0	-4,1	2,9	13,9
Греция	-9,0	0,1	2,7	-8,5	1,4
Венгрия	9,0	-2,9	-1,4	2,7	12,3
Исландия	5,0	33,3	-5,2	17,8	0,0
Ирландия	-4,9	-20,3	-5,4	-9,2	23,9
Италия	6,7	-18,0	2,8	5,4	0,0
Латвия	-0,5	5,2	11,2	6,5	22,9
Литва	2,8	8,8	16,1	-9,3	14,8
Македония	-8,6	-4,6	2,6	-9,9	-20,2
Мальта	-31,3	68,4	19,4	-6,9	18,4
Молдова	2,2	0,9	0,0	0,0	0,0
Черногория	12,7	-3,5	0,0	5,7	-5,5
Нидерланды	-41,8	5,2	0,9	30,1	-0,2
Норвегия	11,5	14,4	-5,7	6,6	3,6
Польша	-5,7	10,5	8,7	13,0	-8,1
Португалия	10,8	11,8	-2,5	11,9	-19,5
Румыния	-7,2	18,0	1,4	5,1	3,3
Российская Федерация	6,9	12,2	6,0	5,1	-6,5
Сербия	-6,7	0,4	-25,4	18,8	3,0
Словакия	16,9	45,0	-17,0	12,4	1,6
Словения	56,9	-19,1	6,1	13,0	14,1
Испания	7,5	-2,9	-16,6	23,1	2,6
Швеция	23,2	2,3	-2,9	-3,6	-7,1

1	2	3	4	5	6
Швейцария	15,0	0,3	8,0	0,0	0,0
Украина	3,0	0,7	-2,3	5,3	-11,1
Великобритания	-1,2	3,3	-1,1	5,5	-3,7

В Океании (табл. 1.9) лучшими производителями являются Новая Зеландия и Австралия, остальные страны существенно не влияют на развитие аквакультуры в этом регионе, однако следует отметить рост производства продукции аквакультуры в Папуа – Новая Гвинея и Соломоновых островах (табл. 1.10).

Таблица 1.9. Производство продукции аквакультуры в Океании, т

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Американское Самоа	18	20	20	20	20	20
Австралия	75627	76275	81833	80064	74914	91036
Острова Кука	2	2	6	8	8	10
Фиджи	768	646	727	637	744	744
Французкая Полинезия	2184	2919	2655	2698	2087	1915
Гуам	129	111	111	110	110	110
Кирибати	4756	4293	8291	2261	3582	3602
Маршалловы острова	0	0	0	–	1	–
Науру	0	0	1	–	–	–
Новая Каледония	1223	1564	1666	1596	1659	1256
Новая Зеландия	110592	117266	100161	97123	109874	91275
Северные Марианские Острова	24	25	26	31	42	42
Палау	25	24	36	20	27	24
Папуа-Новая Гвинея	1688	1871	3225	4525	5150	6150
Самоа	5	5	5	4	6	13
Соломоновы острова	7105	7219	6992	11814	12164	12202
Тонга	300	300	300	–	–	3
Тувалу	2	2	2	2	2	2
Вануату	104	57	60	81	80	12

**Таблица 1.10. Относительный рост производства продукции аквакультуры
в Океании, %**

Страна	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Американское Самоа	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Австралия	0,9	7,0	-2,2	-6,6	19,4
Острова Кука	0,0	100,0	28,6	0,0	22,2
Фиджи	-17,3	11,8	-13,2	15,5	0,0
Французская Полинезия	28,8	-9,5	1,6	-25,5	-8,6
Гуам	-15,0	0,0	-0,9	0,0	0,0
Кирибати	-10,2	63,5	-114,3	45,2	0,6
Новая Каледония	24,5	6,3	-4,3	3,9	-27,7
Новая Зеландия	5,9	-15,7	-3,1	12,3	-18,5
Северные Марианские Острова	4,1	3,9	17,5	30,1	0,0
Палау	-4,1	40,0	-57,1	29,8	-11,8
Папуа-Новая Гвинея	10,3	53,1	33,5	12,9	17,7
Самоа	0,0	0,0	-22,2	40,0	73,7
Соломоновы острова	1,6	-3,2	51,3	2,9	0,3
Тувалу	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вануату	-58,4	5,1	29,8	-1,2	-147,8

**Таблица 1.11. Производство продукции аквакультуры
в странах бывшего СССР, т**

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7
Армения	5000	6300	8850	11700	13925	15130
Азербайджан	1000	517	366	325	305	561
Грузия	470	650	650	650	670	670
Казахстан	224	858	738	811	410	730
Киргизия	352	394	297	300	578	1068
Таджикистан	517	537	275	404	444	450
Туркменистан	26	26	26	30	30	30
Узбекистан	6654	8722	14833	23835	29276	36898
Беларусь	16265	16293	15499	13548	10658	9131
Эстония	573	388	581	733	874	799

1	2	3	4	5	6	7
Латвия	549	546	575	643	686	863
Литва	3191	3280	3582	4211	3836	4450
Молдова	8800	9000	9080	9080	9084	9080
Российская Федерация	120998	129651	146455	155540	163600	153243
Украина	22865	23553	23720	23175	24434	21872

Таблица 1.12. Относительный рост производства продукции аквакультуры в странах бывшего СССР, %

Страна	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Армения	23,0	33,7	27,7	17,4	8,3
Азербайджан	-63,7	-34,2	-11,9	-6,3	59,1
Грузия	32,1	0,0	0,0	3,0	0,0
Казахстан	117,2	-15,0	9,4	-65,7	56,1
Киргизия	11,3	-28,1	1,0	63,3	59,5
Таджикистан	3,8	-64,5	38,0	9,4	1,3
Туркменистан	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0
Узбекистан	26,9	51,9	46,6	20,5	23,0
Беларусь	0,2	-5,0	-13,4	-23,9	-15,4
Эстония	-38,5	39,8	23,1	17,5	-9,0
Латвия	-0,5	5,2	11,2	6,5	22,9
Литва	2,8	8,8	16,1	-9,3	14,8
Молдова	2,2	0,9	0,0	0,0	0,0
Российская Федерация	6,9	12,2	6,0	5,1	-6,5
Украина	3,0	0,7	-2,3	5,3	-11,1

Среди стран бывшего СССР (табл. 1.11) Беларусь занимает 5-е место среди 15 стран. В тройку лидеров входит Российская Федерация, Узбекистан, Украина. Следует также отметить устойчивый рост производства аквакультуры (табл. 1.12) в Российской Федерации, Армении (более чем в 3 раза за 5 лет), Узбекистане (более чем в 5 раз за 5 лет), Киргизии (более чем в 3 раза за 5 лет), Литве.

Среди стран, граничащих с Беларусью, лидерами являются Российская Федерация, Польша и Украина (табл. 1.13, рис. 1.5).

Таблица 1.13. Производство продукции аквакультуры в странах-соседях Беларуси, т

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Беларусь	16265	16293	15499	13548	10658	9131
Латвия	549	546	575	643	686	863
Литва	3191	3280	3582	4211	3836	4450
Российская Федерация	120998	129651	146455	155540	163600	153243
Украина	22865	23553	23720	23175	24434	21872
Польша	30751	29037	32261	35208	40110	36971

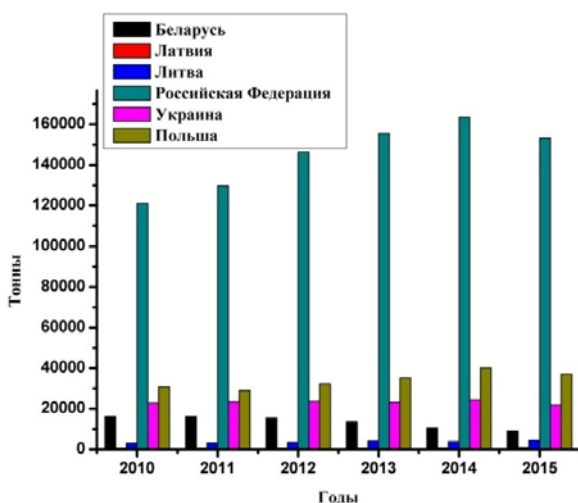


Рис. 1.5. Производство продукции аквакультуры в странах-соседях Беларуси

К продукции аквакультуры относят следующие группы: ракообразные, пресноводные рыбы, проходные рыбы, морские рыбы, водные растения, моллюски, различные продукты из водных животных, различные водные животные.

В Африке, основная доля производства продукции аквакультуры приходится на группу пресноводных рыб, далее идут группа морских рыб и группа водных растений, на остальные группы приходится незначительная доля производства (табл. 1.14, рис. 1.6). Следует отметить устойчивый относительный рост производства продукции из группы морских рыб и группы водных растений (табл. 1.15).

Таблица 1.14. Производство различных групп продукции аквакультуры в Африке, т

Продукция аквакультуры	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	5705	6977	6382	11527	12339	3733
Пресноводные рыбы	1110168	1217437	1296106	1436693	1521053	1549056
Проходные рыбы	1807	2441	2761	3168	3544	3525
Морские рыбы	165018	166136	175567	160422	170308	212284
Водные растения	138329	141120	161458	123394	148968	196870
Моллюски	3034	2741	3263	3236	3458	3770
Различные водные животные	1	1	1	1	1	25

Таблица 1.15. Относительный рост производства различных групп продукции аквакультуры в Африке, %

Продукция аквакультуры	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	20,1	-8,9	57,5	6,8	-107,1
Пресноводные рыбы	9,2	6,3	10,3	5,7	1,8
Проходные рыбы	29,8	12,3	13,7	11,2	-0,5
Морские рыбы	0,7	5,5	-9,0	6,0	21,9
Водные растения	2,0	13,4	-26,7	18,8	27,7
Моллюски	-10,1	17,4	-0,8	6,6	8,6

Африка

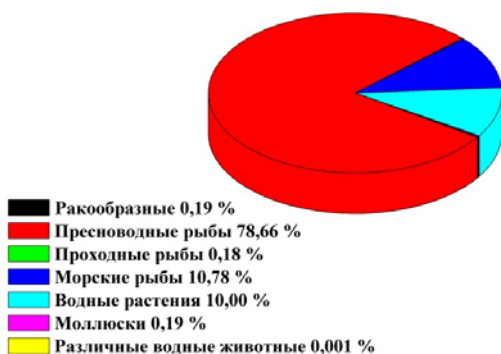


Рис. 1.6. Долевое соотношение производства различных групп продукции аквакультуры в Африке

В Америке наблюдается относительно равное разделение производства продукции аквакультуры между группами проходных рыб, пресноводных рыб и ракообразных, остальное производство приходится на группу моллюсков. Оставшиеся группы вносят незначительных вклад в общий объем производимой продукции (табл. 1.16, рис. 1.7). Следует отметить относительный рост производства продукции из группы морских рыб и группы ракообразных (табл. 1.17).

Таблица 1.16. Производство различных групп продукции аквакультуры в Америке, т

Продукция аквакультуры	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	560834	618363	637099	672081	700326	786823
Пресноводные рыбы	765856	742536	788774	810672	933584	920347
Проходные рыбы	654768	853600	1036871	1002222	1160322	1087414
Морские рыбы	4624	6241	4464	10997	13254	12211
Водные растения	12924	15435	5021	13323	13597	12753
Моллюски	527055	552648	521578	546658	538136	465296
Различные водные животные	671	700	691	543	567	531

Таблица 1.17. Относительный рост производства различных группы продукции аквакультуры в Америке, %

Продукция аквакультуры	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	9,8	3,0	5,3	4,1	11,6
Пресноводные рыбы	-3,1	6,0	2,7	14,1	-1,4
Проходные рыбы	26,4	19,4	-3,4	14,6	-6,5
Морские рыбы	29,8	-33,2	84,5	18,6	-8,2
Водные растения	17,7	-101,8	90,5	2,0	-6,4
Моллюски	4,7	-5,8	4,7	-1,6	-14,5
Различные водные животные	4,2	-1,3	-24,0	4,3	-6,6



Рис. 1.7. Долевое соотношение производства различных групп продукции аквакультуры в Америке

В Азии основной объем производства продукции аквакультуры формируют группы пресноводных рыб, водных растений и моллюсков (табл. 1.18, рис. 1.8). Стабильный относительный рост продукции аквакультуры наблюдается у всех групп, кроме группы различных продуктов из водных животных (табл. 1.19).

Таблица 1.18. Производство различных групп продукции аквакультуры в Азии, т

Продукция аквакультуры	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	5012065	5347759	5627582	5869003	6328099	6553629
Пресноводные рыбы	30876123	32370560	35367412	37910086	39702897	41315409
Проходные рыбы	1437401	1542369	1655721	1793587	1787319	1919849
Морские рыбы	1498057	1694471	1805137	1900287	2007908	2470515
Водные растения	18826164	20613601	23368119	26706120	27170067	29130475
Моллюски	12813347	13077937	13665400	14282466	14789139	15230372
Различные продукты из водных животных	61224	50784	19829	31102	46401	39325
Различные водные животные	815109	750114	834264	889814	890431	902937

Таблица 1.19. **Относительный рост производства различных групп продукции аквакультуры в Азии, %**

Продукция аквакультуры	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	6,48	5,10	4,20	7,53	3,50
Пресноводные рыбы	4,73	8,85	6,94	4,62	3,98
Проходные рыбы	7,05	7,09	7,99	–0,35	7,15
Морские рыбы	12,30	6,32	5,14	5,51	20,66
Водные растения	9,06	12,53	13,33	1,72	6,96
Моллюски	2,04	4,39	4,42	3,49	2,94
Различные продукты из водных животных	–18,64	–87,68	44,27	39,48	–16,51
Различные водные животные	–8,30	10,62	6,44	0,07	1,39

Азия



Рис. 1.8. Долевое соотношение производства различных групп продукции аквакультуры в Африке

В Европе основной объем продукции аквакультуры приходится на проходных рыб, далее идут группы моллюсков, пресноводных рыб и морских рыб. Остальные группы существенного вклада в общий объем производимой продукции не имеют (табл. 1.20, рис. 1.9). Устойчивый и высокий относительный рост демонстрируют группа проходных рыб и группа различных водных животных (табл. 1.21).

Таблица 1.20. Производство различных групп продукции аквакультуры в Европе, т

Продукция аквакультуры	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	225	292	283	206	263	310
Пресноводные рыбы	245144	239763	256518	251616	259131	257965
Проходные рыбы	1470649	1599872	1808873	1757381	1875428	1906903
Морские рыбы	201853	187183	182127	178171	173685	173435
Водные растения	2058	2528	3273	2882	3019	2709
Моллюски	604460	618695	579104	540959	619909	636520
Различные водные животные	376	146	220	246	824	824

Таблица 1.21. Относительный рост производства различных групп продукции аквакультуры в Европе, %

Продукция аквакультуры	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	25,9	-3,1	-31,5	24,3	16,4
Пресноводные рыбы	-2,2	6,8	-1,9	2,9	-0,5
Проходные рыбы	8,4	12,3	-2,9	6,5	1,7
Морские рыбы	-7,5	-2,7	-2,2	-2,5	-0,1
Водные растения	20,5	25,7	-12,7	4,6	-10,8
Моллюски	2,3	-6,6	-6,8	13,6	2,6
Различные водные животные	-88,1	40,4	11,2	108,0	0,0



Рис. 1.9. Долевое соотношение производства различных групп продукции аквакультуры в Европе

В Океании основной объем производства продукции аквакультуры приходится на моллюсков и проходных рыб (табл. 1.22, рис. 1.10). Увеличение относительного роста производства демонстрируют проходные рыбы и различные водные животные (табл. 1.23).

Таблица 1.22. Производство различных групп продукции аквакультуры в Океании, т

Продукция аквакультуры	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	1408	1797	1877	1811	1874	1507
Пресноводные рыбы	2786	2592	2755	3099	3271	3279
Проходные рыбы	47791	54496	59802	57817	54844	62965
Морские рыбы	11575	9628	8761	8542	8293	9810
Водные растения	12809	12508	17530	17032	19292	20352
Моллюски	118140	120789	104624	102000	114566	96032
Различные водные животные	1852	3149	2841	3645	1354	5593

Таблица 1.23. Относительный рост производства различных групп продукции аквакультуры в Океании, %

Продукция аквакультуры	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Ракообразные	24,3	4,4	-3,6	3,4	-21,7
Пресноводные рыбы	-7,2	6,1	11,8	5,4	0,2
Проходные рыбы	13,1	9,3	-3,4	-5,3	13,8
Морские рыбы	-18,4	-9,4	-2,5	-3,0	16,8
Водные растения	-2,4	33,4	-2,9	12,4	5,3
Моллюски	2,2	-14,3	-2,5	11,6	-17,6
Различные водные животные	51,9	-10,3	24,8	-91,7	122,0

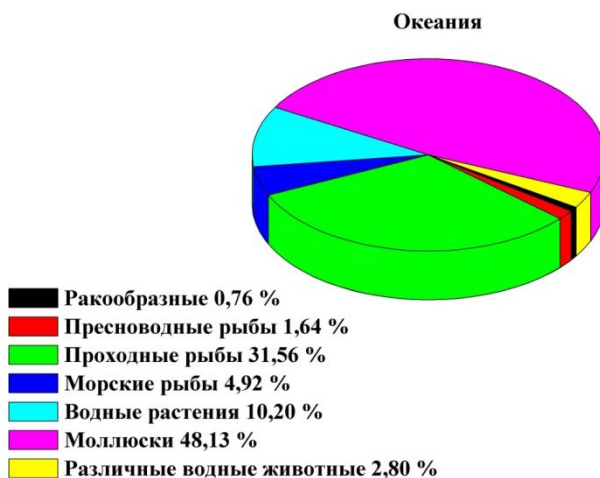


Рис. 1.10. Долевое соотношение производства различных групп продукции аквакультуры в Океании

К группе проходных рыб относят речных угрей, лососеобразных, осетрообразных и прочих проходных рыб.

В Африке основной объем производства проходных групп рыб в аквакультуре приходится на лососеобразных, остальная часть – на речных угрей и прочих проходных рыб (рис. 1.11, табл. 1.24). Увели-

чение относительного роста производства демонстрируют группа речных угрей и прочие проходные рыбы (табл. 1.25).

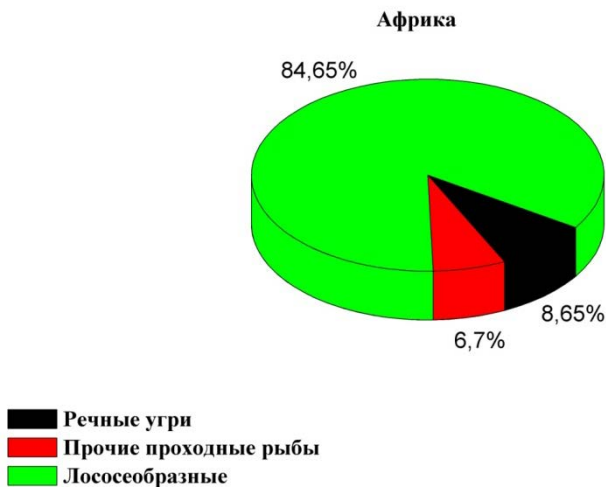


Рис. 1.11. Долевое соотношение производства проходных рыб в Африке

Таблица 1.24. Производство проходных рыб в Африке, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Речные угри	161	104	123	354	366	305
Прочие проходные рыбы	8	137	231	210	223	236
Лососеобразные	1638	2200	2407	2604	2955	2984

Таблица 1.25. Относительный рост производства проходных рыб в Африке, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Речные угри	-43,0	16,7	96,9	3,3	-18,2
Прочие проходные рыбы	177,9	51,1	-9,5	6,0	5,7
Лососеобразные	29,3	9,0	7,9	12,6	1,0

В Америке абсолютная доля объема производства проходных групп рыб в аквакультуре приходится на лососеобразных (рис. 1.12, табл. 1.26), производство которых с 2010 года увеличилось почти в 2 раза. Также необходимо обратить внимание на хорошую динамику относительного роста производства осетрообразных рыб (табл. 1.27).

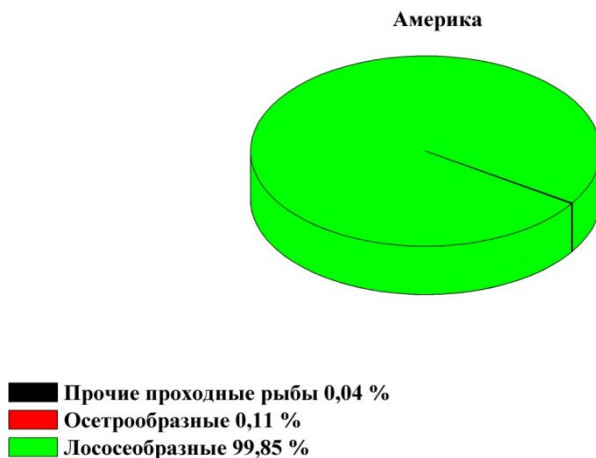


Рис. 1.12. Долевое соотношение производства проходных рыб в Америке

Таблица 1.26. Производство проходных рыб в Америке, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие проходные рыбы	400	400	400	400	400	400
Осетрообразные	270	370	406	1223	1201	1219
Лососеобразные	654098	852830	1036065	1000599	1158721	1085795

Таблица 1.27. Относительный рост производства проходных рыб в Америке, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Осетрообразные	31,3	9,3	100,3	-1,8	1,5
Лососеобразные	26,4	19,4	-3,5	14,6	-6,5

В Азии основная доля объема производства проходных рыб приходится на группу прочих проходных рыб, остальная часть приходится на лососеобразных, речных угрей, осетрообразных (рис. 1.13,

табл. 1.28). Необходимо обратить внимание на высокий темп относительного роста осетрообразных рыб (табл. 1.29).



Рис. 1.13. Долевое соотношение производства проходных рыб в Азии

Таблица 1.28. Производство проходных рыб в Азии, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие проходные рыбы	871143	955018	1015211	1114193	1108959	1187603
Речные угри	264531	248407	236389	227311	244579	267600
Лососеобразные	264926	292347	345315	383083	353126	367196
Осетрообразные	36802	46459	58624	68720	80345	97063

Таблица 1.29. Относительный рост производства проходных рыб в Азии, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие проходные рыбы	9,2	6,1	9,3	-0,5	6,8
Речные угри	-6,3	-5,0	-3,9	7,3	9,0
Лососеобразные	9,8	16,6	10,4	-8,1	3,9
Осетрообразные	23,2	23,2	15,9	15,6	18,8

В Европе абсолютное большинство производства проходных групп рыб в аквакультуре приходится на лососеобразных (рис. 1.14, табл. 1.30). Также необходимо обратить внимание на хорошую дина-

мику относительного роста производства осетрообразных рыб (табл. 1.31).

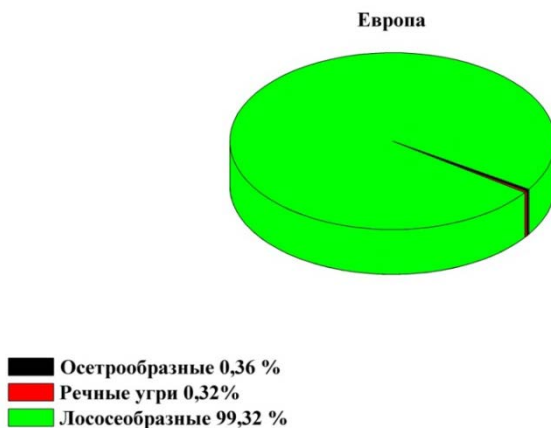


Рис. 1.14. Долевое соотношение производства проходных рыб в Европе

Таблица 1.30. Производство проходных рыб в Европе, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Осетрообразные	4129	5068	5678	6043	6390	6850
Прочие проходные рыбы	8	–	–	1	5	–
Речные угри	6068	5065	4649	5268	5089	5945
Лососеобразные	1446577	1575959	1781851	1728221	1844883	1874477

Таблица 1.31. Относительный рост производства проходных рыб в Европе, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Осетрообразные	20,4	11,4	6,2	5,6	6,9
Речные угри	–18,0	–8,6	12,5	–3,5	15,5
Лососеобразные	8,6	12,3	–3,1	6,5	1,6

В Океании абсолютное большинство производства проходных групп рыб в аквакультуре приходится также на лососеобразных (рис. 1.15, табл. 1.32), которые также демонстрируют хорошую динамику относительного роста (табл. 1.33).

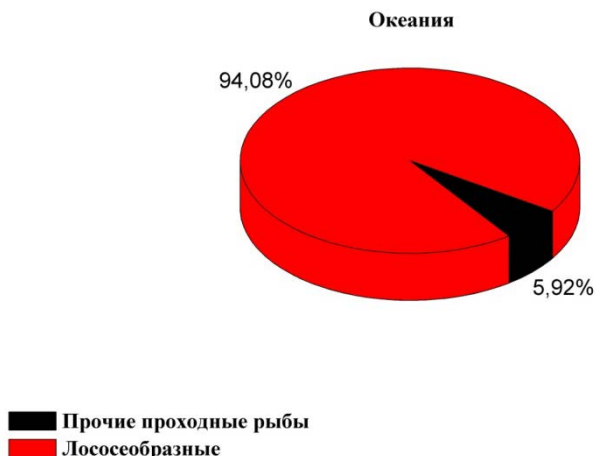


Рис. 1.15. Долевое соотношение производства проходных рыб в Океании

Таблица 1.32. Производство проходных рыб в Океании, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие проходные рыбы	3704	4408	4555	3627	3498	3828
Лососеобразные	44769	50770	56443	54828	52494	60870
Речные угри		63	72			

Таблица 1.33. Относительный рост производства проходных рыб в Океании, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие проходные рыбы	17,4	3,3	–22,7	–3,6	9,0
Лососеобразные	12,6	10,6	–2,9	–4,3	14,8
Речные угри	–	–	–	–	–

К группе пресноводных рыб относятся карповые, цихловые и прочие пресноводные рыбы.

В Африке абсолютное большинство производства пресноводных групп рыб в аквакультуре приходится также на цихловых, остальная часть приходится на прочих пресноводных рыб и карповых (рис. 1.16, табл. 1.34). Цихловые демонстрируют также значительное увеличение

относительного роста производства на фоне снижения производства карповых рыб (табл. 1.35).

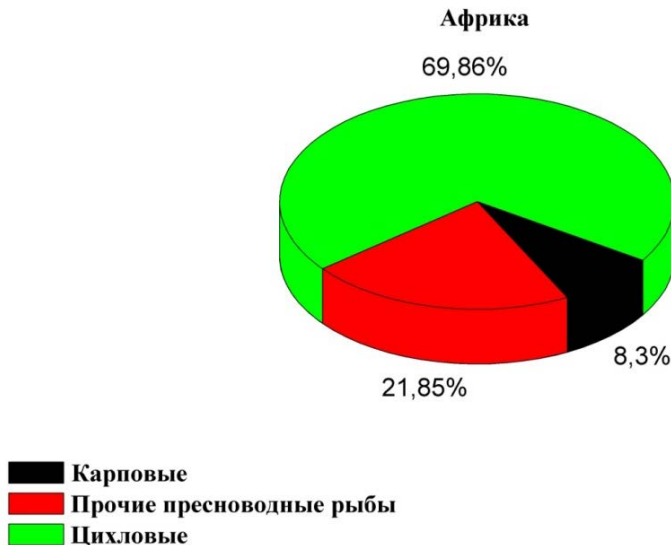


Рис. 1.16. Долевое соотношение производства пресноводных рыб в Африке

Таблица 1.34. Производство пресноводных рыб в Африке, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Карповые	210129	226344	95275	324388	233090	128532
Прочие пресноводные рыбы	255590	272164	283267	308161	339127	338402
Цихловые	644449	718929	917564	804143	948836	1082121

Таблица 1.35. Относительный рост производства пресноводных рыб в Африке, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Карповые	7,4	-81,5	109,2	-32,8	-57,8
Прочие пресноводные рыбы	6,3	4,0	8,4	9,6	-0,2
Цихловые	10,9	24,3	-13,2	16,5	13,1

В Америке в равных долях осуществляется производство прочих пресноводных рыб и цихловых рыб, незначительная часть производства приходится на карповых (рис. 1.17, табл. 1.36). Цихловые и прочие пресноводные рыбы в целом демонстрируют положительный рост относительного объема производства (табл. 1.37).

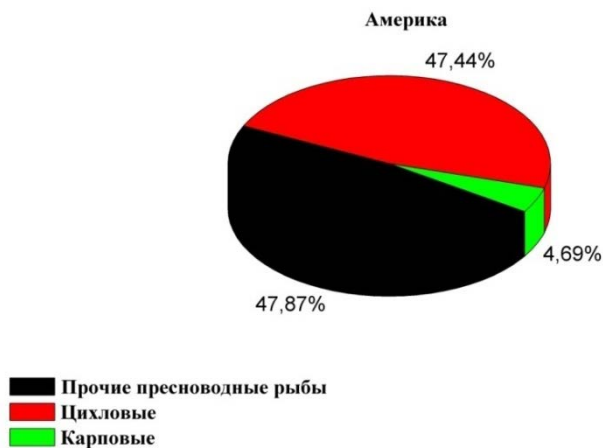


Рис. 1.17. Долевое соотношение производства пресноводных рыб в Америке

Таблица 1.36. Производство пресноводных рыб в Америке, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие пресноводные рыбы	394198	354335	372018	416015	462319	440581
Цихловые	326593	347213	373493	357366	422693	436631
Карповые	45066	40987	43262	37291	48572	43135

Таблица 1.37. Относительный рост производства пресноводных рыб в Америке, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие пресноводные рыбы	–10,7	4,9	11,2	10,5	–4,8
Цихловые	6,1	7,3	–4,4	16,7	3,2
Карповые	–9,5	5,4	–14,8	26,3	–11,9

В Азии доминирующее положение в производстве пресноводных рыб занимают карповые рыбы. Остальной объем производства приходится на прочих пресноводных рыб и цихловых (рис. 1.18, табл. 1.38). В целом все группы пресноводных рыб в азиатском регионе показывают положительную динамику относительного роста (табл. 1.39).

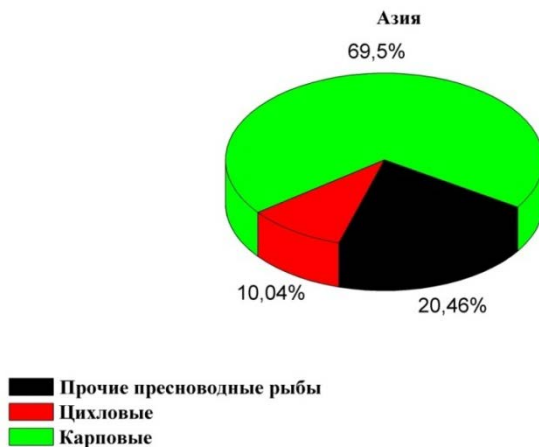


Рис. 1.18. Долевое соотношение производства пресноводных рыб в Азии

Таблица 1.38. Производство пресноводных рыб в Азии, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие пресноводные рыбы	5475730	5955080	7088470	7884851	8055708	8453695
Цихловые	2568606	2928640	3269532	3720853	3940878	4149403
Карповые	22831787	23486840	25009410	26304381	27706311	28712311

Таблица 1.39. Относительный рост производства пресноводных рыб в Азии, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Прочие пресноводные рыбы	8,4	17,4	10,6	2,1	4,8
Цихловые	13,1	11,0	12,9	5,7	5,2
Карповые	2,8	6,3	5,0	5,2	3,6

В Европе доминирующее положение в производстве пресноводных рыб занимают также карповые рыбы. Остальной объем производства приходится на прочих пресноводных рыб и незначительный – на цихловых (рис. 1.19, табл. 1.40). В целом все группы пресноводных рыб в азиатском регионе показывают положительную динамику относительного роста (табл. 1.41).



Рис. 1.19. Долевое соотношение производства пресноводных рыб в Европе

Таблица 1.40. Производство пресноводных рыб в Европе, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Карповые	228302	226485	243756	234805	240909	236535
Цихловые	308	359	400	444	1177	906
Прочие пресноводные рыбы	16534	12918	12361	16367	17044	20524

Таблица 1.41. Относительный рост производства пресноводных рыб в Европе, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Карповые	–0,8	7,3	–3,7	2,6	–1,8
Цихловые	15,3	10,8	10,4	90,4	–26,0
Прочие пресноводные рыбы	–24,6	–4,4	27,9	4,1	18,5

В Океании основной объем производства пресноводных рыб приходится на цихловых рыб, остальной объем – на прочих пресноводных рыб и карповых рыб (рис. 1.20, табл. 1.42). В целом положительную динамику относительного роста демонстрируют цихловые рыбы (табл. 1.43).

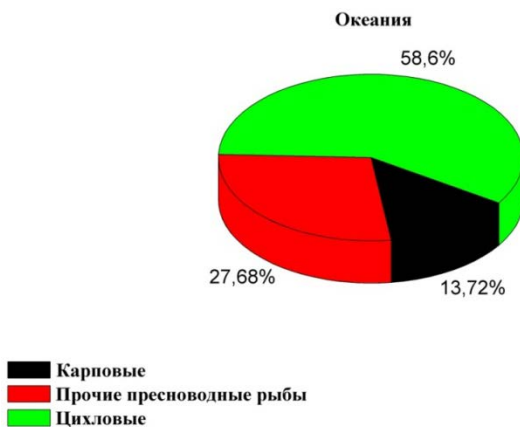


Рис. 1.20. Долевое соотношение производства пресноводных рыб в Океании

Таблица 1.42. Производство пресноводных рыб в Океании, т

Группа рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Карповые	500	450	450	450	450	450
Прочие пресноводные рыбы	911	732	708	830	848	908
Цихловые	1375	1411	1597	1819	1973	1922

Таблица 1.43. Относительный рост производства пресноводных рыб в Океании, %

Группа рыб	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Карповые	–10,5	–	–	–	–
Прочие пресноводные рыбы	–21,8	–3,3	15,9	2,1	6,8
Цихловые	2,6	12,4	13,0	8,1	–2,6

В Республике Беларусь к ценным видам рыб относят в основном лососеобразных и осетрообразных. Поэтому в данном обзоре мы уделили внимание объемам производства этих видов рыб на мировом и республиканском уровне.

Как видно из рис. 1.21 и рис. 1.22, мировым лидером в производстве лососеобразных рыб является Европа, которая производит 55,27 % от всего мирового объема выращивания, далее следует Америка – 32,02 %, Азия – 10,83 %, Океания – 1,79 %, Африка – 0,09 %. В Америке и Европе также наблюдается рост производства этой группы рыб.

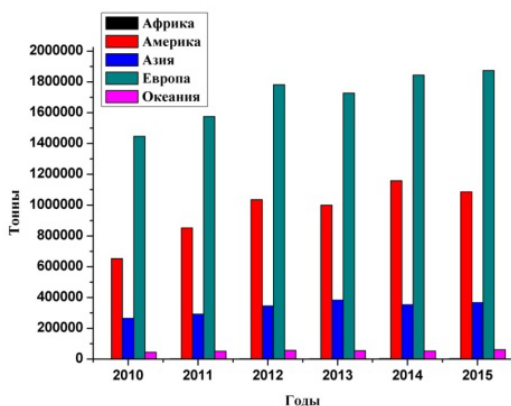


Рис. 1.21. Производство лососеобразных рыб по континентам



Рис. 1.22. Долевое соотношение производства лососеобразных рыб по континентам

При изучении производства лососеобразных в разрезе европейских стран (табл. 1.44) можно выделить 10 ведущих производителей лососеобразных: Норвегия, Великобритания, Фарерские острова, Российская Федерация, Франция, Дания, Италия, Испания, Финляндия, Ирландия. Необходимо отметить, что в 2015 г. Норвегия превосходила Великобританию, занимавшую второе место в списке, в 7,5 раза. В 2015 г. Республика Беларусь среди 40 европейских стран занимала 33-е место. Высокие темпы роста объема производства лососеобразных в Европе демонстрируют Австрия, Беларусь, Фарерские острова, Латвия, Литва, Норвегия, Российская Федерация, Словакия, Словения (табл. 1.45).

Таблица 1.44. Производство лососеобразных рыб в Европе, т

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7
Албания	230	155	202	250	100	390
Австрия	1639	2061	2208	2256	2394	2382
Беларусь	14	37	72	75	159	233
Бельгия	39	81	—	173	175	50
Босния и Герцеговина	39	81	—	173	175	50
Болгария	4010	3024	2819	2382	2936	3172
Нормандские острова	2928	1552	2202	3078	3328	3371
Хорватия	2482	2481	1000	345	378	679
Чехия	764	843	770	690	706	616
Дания	32910	33155	31876	34262	36600	33260
Эстония	488	334	455	465	573	559
Фарерские острова	47575	60473	76564	75909	86454	80600
Финляндия	11714	11192	12572	13510	13308	14772
Франция	35818	32807	32267	32178	35650	38150
Германия	21048	10192	11712	12185	12694	10661
Греция	2722	1914	1970	2016	1614	1759
Венгрия	48	44	45	52	61	42
Исландия	3583	4330	6434	6346	7979	7925
Ирландия	16833	13437	13261	10073	10176	13919
Италия	36728	36614	36931	37019	32809	32825
Латвия	16	11	23	29	39	134
Литва	34	41	115	115	110	278
Македония	1238	1114	1040	1066	956	738
Черногория	450	500	530	530	597	503

Окончание табл. 1.44

1	2	3	4	5	6	7
Нидерланды	50	50	50	50	50	50
Норвегия	994695	1123689	1307072	1240156	1327627	1376612
Польша	12940	11200	10900	11554	14263	13161
Португалия	952	1115	479	775	752	778
Румыния	1400	1710	1074	1106	1155	1542
Российская Федерация	28055	32397	33502	49469	47298	39503
Сербия	873	796	809	856	735	949
Словакия	554	585	773	774	934	927
Словения	485	682	634	692	752	798
Испания	17555	16629	16401	15962	15151	16235
Швеция	9166	11880	12354	11571	11088	10390
Швейцария	1146	1346	1346	1346	1346	1346
Украина	200	200	400	400	507	247
Великобритания	168820	171001	177569	176353	192431	184538

Таблица 1.45. Относительный рост производства лососеобразных рыб в Европе, %

Страна	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6
Албания	-39,0	26,3	21,2	-85,7	118,4
Австрия	22,8	6,9	2,2	5,9	-0,5
Беларусь	90,2	64,2	4,1	71,8	37,8
Бельгия	70,0	-200,0	200,0	1,1	-111,1
Босния и Герцеговина	70,0	-200,0	200,0	1,1	-111,1
Болгария	-28,0	-7,0	-16,8	20,8	7,7
Нормандские острова	-61,4	34,6	33,2	7,8	1,3
Хорватия	-0,0	-85,1	-97,4	9,1	57,0
Чехия	9,8	-9,1	-11,0	2,3	-13,6
Дания	0,7	-3,9	7,2	6,6	-9,6
Эстония	-37,5	30,7	2,2	20,8	-2,5
Фарерские острова	23,9	23,5	-0,9	13,0	-7,0
Финляндия	-4,6	11,6	7,2	-1,5	10,4
Франция	-8,8	-1,7	-0,3	10,2	6,8
Германия	-69,5	13,9	4,0	4,1	-17,4
Греция	-34,9	2,9	2,3	-22,1	8,6
Венгрия	-8,7	2,2	14,4	15,9	-36,9
Исландия	18,9	39,1	-1,4	22,8	-0,7
Ирландия	-22,4	-1,3	-27,3	1,0	31,1
Италия	-0,3	0,9	0,2	-12,1	0,0
Латвия	-37,0	70,6	23,1	29,4	109,8
Литва	18,7	94,9	—	-4,4	86,6

1	2	3	4	5	6
Македония	-10,5	-6,9	2,5	-10,9	-25,7
Черногория	10,5	5,8	—	11,9	-17,1
Нидерланды	—	—	—	—	—
Норвегия	12,2	15,1	-5,3	6,8	3,6
Польша	-14,4	-2,7	5,8	21,0	-8,0
Португалия	15,8	-79,8	47,2	-3,0	3,4
Румыния	19,9	-45,7	2,9	4,3	28,7
Российская Федерация	14,4	3,4	38,5	-4,5	-18,0
Сербия	-9,2	1,6	5,6	-15,2	25,4
Словакия	5,4	27,7	0,1	18,7	-0,8
Словения	33,8	-7,3	8,7	8,3	5,9
Испания	-5,4	-1,4	-2,7	-5,2	6,9
Швеция	25,8	3,9	-6,5	-4,3	-6,5
Швейцария	16,1	—	—	—	—
Украина	—	66,7	—	23,6	-69,0
Великобритания	1,3	3,8	-0,7	8,7	-4,2

Среди стран-соседей Беларуси основными лидерами в производстве лососеобразных рыб являются Россия и Польша, на долю которых суммарно приходится 99,7 %, при этом в России наблюдается постоянный устойчивый рост производства (рис. 1.23, рис. 1.24). Беларусь в 2015 г. среди стран-соседей занимала последнее место.

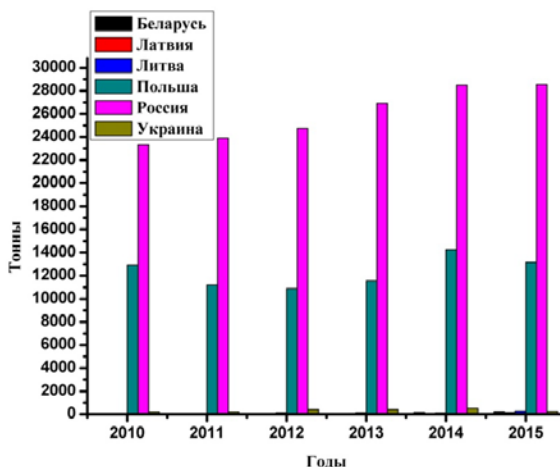


Рис. 1.23. Темпы производства лососеобразных рыб среди стран-соседей Беларуси

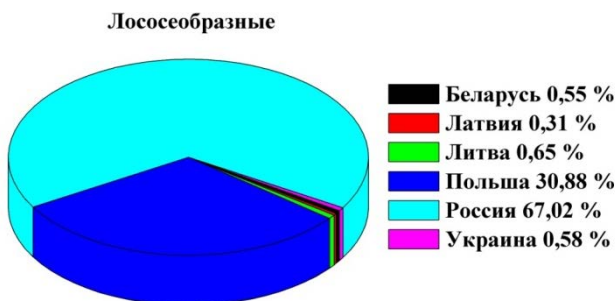


Рис. 1.24. Долевое соотношение производства лососеобразных рыб среди стран-соседей Беларуси

Как видно из рис. 1.25 и рис. 1.26, абсолютным мировым лидером в производстве осетрообразных рыб является Китай, который производит 92,32 % от всего мирового объема выращивания, далее следует Европа – 6,52 % – и Америка – 1,16 %.

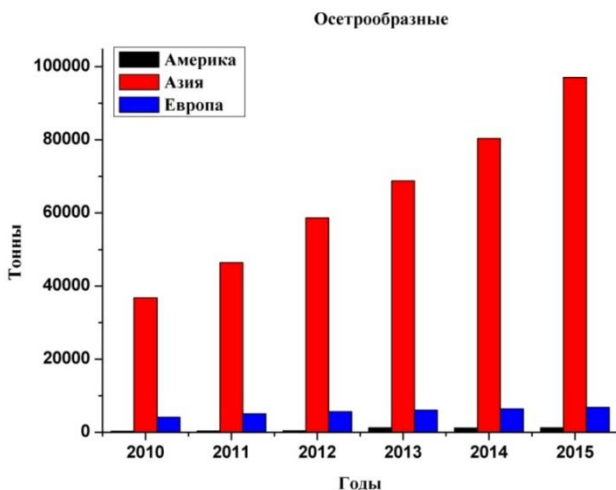


Рис. 1.25. Производство осетрообразных рыб по континентам



Рис. 1.26. Долевое соотношение производства осетрообразных рыб по континентам

При изучении производства осетрообразных в разрезе европейский стран (табл. 1.46) можно выделить 10 ведущих производителей лососеобразных: Российская Федерация, Италия, Польша, Франция, Болгария, Германия, Венгрия, Украина, Молдова, Беларусь. Высокие темпы роста объема производства лососеобразных в Европе демонстрируют Франция, Германия, Венгрия, Италия, Латвия, Литва, Польша, Российская Федерация, Украина (табл. 1.47).

Таблица 1.46. Производство осетрообразных рыб в Европе, т

Страна	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7
Австрия	2	3	2	2	3	4
Беларусь	65	107	98	71	99	97
Босния и Герцеговина	–	–	–	–	–	–
Болгария	449	301	323	294	277	344
Дания	–	1	–	2	1	4
Эстония	24	13	–	–	–	56
Франция	202	236	224	335	350	350
Германия	93	40	294	258	257	222
Греция	–	–	–	–	43	40
Венгрия	81	51	38	32	48	142
Италия	753	838	714	717	824	850
Латвия	11	19	28	35	54	91
Литва	17	52	55	116	73	91

1	2	3	4	5	6	7
Молдова	–	–	80	80	100	100
Польша	170	241	334	440	472	397
Румыния	39	19	12	16	8	14
Российская Федерация	2078	3020	3270	3430	3560	3845
Испания	91	67	90	93	36	46
Швейцария	5	10	15	22	22	22
Украина	50	50	100	100	164	137

Таблица 1.47. Относительный рост производства осетрообразных рыб в Европе, %

Страна	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Австрия	40,0	–40,0	–	40,0	28,6
Беларусь	48,8	–8,8	–32,0	32,9	–2,0
Болгария	–39,5	7,1	–9,4	–6,0	21,6
Франция	15,5	–5,2	39,7	4,4	–
Германия	–79,7	152,1	–13,0	–0,4	–14,6
Греция	–	–	–	–	–
Венгрия	–45,5	–29,2	–17,1	40,0	98,9
Италия	10,7	–16,0	0,4	13,9	3,1
Латвия	53,3	38,3	22,2	42,7	51,0
Литва	101,4	5,6	71,3	–45,5	22,0
Молдова	–	200,0	–	22,2	–
Польша	34,5	32,3	27,4	7,0	–17,3
Румыния	–69,0	–45,2	28,6	–66,7	54,5
Российская Федерация	37,0	7,9	4,8	3,7	7,7
Испания	–30,4	29,3	3,3	–88,4	24,4
Швейцария	66,7	40,0	37,8	–	–
Украина	–	66,7	–	48,5	–17,9

Среди стран-соседей Беларуси абсолютным лидером в производстве осетрообразных рыб является Россия, на долю которой приходится 82,55 %, при этом в России наблюдается постоянный устойчивый рост производства (табл. 1.28, табл. 1.29). Беларусь среди стран-соседей в 2015 г. заняла 4-е место среди 6 стран.

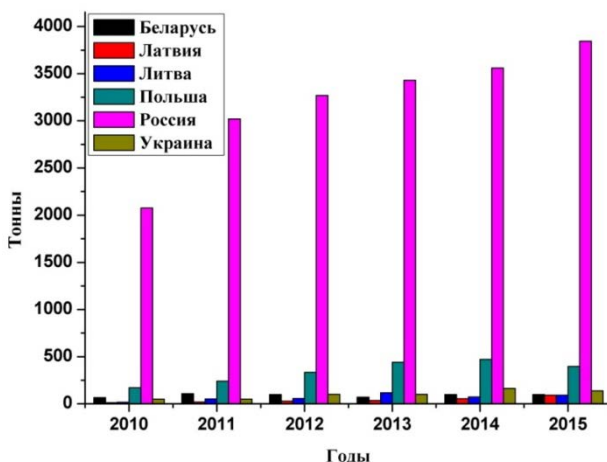


Рис. 1.27. Темпы производства осетрообразных рыб среди стран-соседей Беларуси



Рис. 1.28. Долевое соотношение производства лососеобразных рыб среди стран-соседей Беларуси

1.2. Современное состояние аквакультуры Беларуси

Аквакультуру Беларуси можно разделить на прудовую аквакультуру, садковую аквакультуру как в водоемах-охладителях электростанций, так и в естественных условиях, установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) и пастбищное рыбоводство в естественных водоемах.

Доминирующим типом аквакультуры является прудовая поликультура на основе карпа с различной степенью интенсификации.

Традиционно в прудах выращивают такие виды, как карп (*Cyprinus carpio*), белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), пестрый толстолобик (*Hypophthalmichthys nobilis*), белый амур (*Ctenopharyngodon idella*), серебряный карась (*Carassius gibelio*), судак (*Sander lucioperca*), щука (*Esox lucius*) и окунь (*Perca fluviatilis*). Карп и дальневосточные растительноядные рыбы дают более 80 % от общей продукции. Добавочным видом в прудовой поликультуре является обыкновенный сом, которого разводят искусственно и выращивают вместе с карпом и растительноядными рыбами. Сом играет существенную роль в увеличении ассортимента продуктов из местных рыб, хотя его доля в общем объеме производства до сих пор мала. Кроме того, в прудах выращиваются осетровые (*Acipenser* sp.), радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*), веслонос (*Polyodon spathula*) и линь (*Tinca tinca*), хотя их уловы также незначительны. Европейский окунь и серебряный карась являются дополнительными видами в прудах, и, хотя они целенаправленно не зарыбляются и не выращиваются, они обычно присутствуют в поликультуре основных объектов рыбоводства, неконтролируемо размножаясь в естественных условиях.

Как видно из представленных данных, уловы рыбы в Республике Беларусь снижаются (табл. 1.48, табл. 1.49). Лидерами по промысловому улову рыбы в естественных и искусственных водоемах являются Брестская и Минская области, однако, как видно из представленных данных (табл. 1.50), в Беларуси наблюдается снижение производства рыбы по всем основным объектам прудовой аквакультуры на фоне увеличения объемов выращивания ценных видов рыб. В структуре производства рыбы в условиях аквакультуры основным объектом является карп, однако доля его выращивания постепенно снижается за счет видовой диверсификации производства аквакультуры (рис. 1.29, рис. 1.30).

Таблица 1.48. Улов рыбы в Республике Беларусь, т

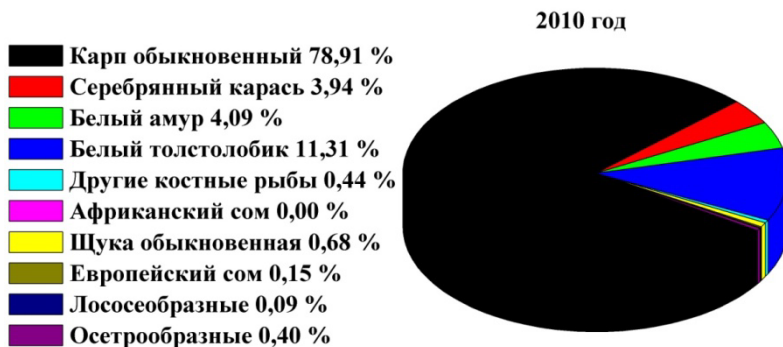
Показатели	2013 г.	2014 г.
Улов рыбы, всего	22701,1	19833,5
В том числе:		
промысловый	15001,9	11846,7
любительский	7699,2	7986,8

**Таблица 1.49. Промысловый улов рыбы в естественных
и искусственных водоемах в Республике Беларусь, т**

Области Республики Беларусь	2013 г.	2014 г.	2014 г. в % к 2013 г.
Республика Беларусь	15001,9	11846,7	79,0
Брестская	5575,3	4998,6	89,7
Витебская	1269,3	1204,1	94,9
Гомельская	2210,9	1498,7	67,8
Гродненская	308,6	264,5	85,7
Минская	4950,3	3262,9	65,9
Могилевская	687,5	617,9	89,9

**Таблица 1.50. Производство продукции аквакультуры по видам
в Республике Беларусь**

Виды рыб	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Карп обыкновенный	12834	12625	11639	10157	7121	6480
Серебрянный карась	641	765	692	587	835	452
Белый амур	665	925	1006	637	398	281
Белый толстолобик	1839	1667	1753	1759	1898	1291
Другие костные рыбы	72	50	91	86	36	172
Африканский сом	–	–	45	60	35	4
Щука обыкновенная	111	96	88	91	69	102
Европейский сом	24	21	15	25	8	20
Лососеобразные	14	37	72	75	159	233
Осетрообразные	65	107	98	71	99	97



**Рис. 1.29. Долевое соотношение производства продукции аквакультуры
по видам в 2010 году**



Рис. 1.30. Долевое соотношение производства продукции аквакультуры по видам в 2015 году

Для промышленного выращивания в УЗВ был интродуцирован африканский сом (*Clarias gariepinus*). Также к распространенным объектам интенсивного выращивания в УЗВ относятся осетровые виды и гибриды, а именно: сибирский осетр (*Acipenser baerii*), русский осетр (*Acipenser gueldenstaedtii*), белуга (*Huso huso*), стерлядь (*Acipenser ruthenus*) и бестер (*Huso huso* × *Acipenser ruthenus*), которые выращиваются как на мясо, так и для производства пищевой икры, а также радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*).

УЗВ позволяют осуществлять круглогодичное выращивание любых видов аквакультуры вне зависимости от климатических условий при одновременном достижении максимальных показателей роста и продуктивности на фоне сбережения ресурсов и обеспечения экологической чистоты производственного процесса.

В последние годы в Беларуси активно развивается аквакультура в УЗВ. Имеет потенциал для развития и садковое выращивание рыбы как метод более полного использования биологического потенциала водоемов комплексного назначения. Экспериментальное выращивание товарной рыбы в садках в водоемах-охладителях электростанций и водохранилищах проводится в регионе с 1968 г. когда в садках на сбросном канале Белозерской ГРЭС была получена рыбопродуктивность по карпу 45,4–65,4 кг/м². Максимальные объемы производства здесь получены в 80-х гг. – до 115,4 кг/м². В Беларуси садковое выращивание карпа прекращено по причине низкой экономической эффективности.

Пастбищное рыбоводство в естественных водоемах в настоящий момент развито недостаточно, однако оно имеет значительный потенциал, особенно в водохранилищах, озерах и устьях рек. Основными целями пастбищного рыбоводства являются увеличение продуктивности промысловых водоемов (путем использования видов рыб, подходящих для выращивания в естественных условиях, например, карповых, в частности растительноядных рыб); улучшение видового состава любительских и промышленных уловов (путем использования крупных хищных рыб, таких, как щука, судак или сом, или мирных рыб, например, карпа или карася); восстановление истощенных стад, чье естественное размножение затруднено (угорь, сиг, судак).

Продуктовое разнообразие рыбы и рыбных продуктов на рынке представлено как продуктами премиум-класса из дорогих и ценных рыб, так и бюджетными продуктами для потребителей со средним уровнем доходов. Пищевые предпочтения населения определяются общим уровнем культуры потребления, традициями и розничными ценами. При покупке рыбы ее низкая стоимость по-прежнему считается определяющим фактором для значительной части населения, особенно в сельских областях. Ценовой критерий имеет значение и для городского населения, однако там уже появилась категория покупателей, которые ставят на первое место качество, престижность и экзотичность продуктов. В частности, перед праздниками (Рождество, Новый год) повышаются продажи довольно дорогих продуктов из осетрины (живая рыба и тушки). Среди общего потребления доминируют импортированная рыба, преимущественно морская, и морепродукты.

Основными движущими силами развития аквакультуры Беларуси являются:

- *изменение численности населения.* Общая численность населения в регионе падает, что может привести к меньшему потреблению рыбы;
- *урбанизация.* Урбанизация отражается на потребительских привычках (от более дешевых и традиционных видов к новым, экзотическим и более дорогим; от живой рыбы к переработанным продуктам);
- *управление производством продуктов питания.* Может содействовать увеличению продукции водных генетических ресурсов, несмотря на то, что способность частного, гражданского и общественного сектора региона действовать вместе и слаженно в настоящее время находится на среднем уровне. Низкий уровень

взаимодействий в управлении водными генетическими ресурсами ведет к их нерациональному и неустойчивому использованию;

- *изменение климата и другие экологические факторы.* Изменение климата в настоящий момент не оказывает значительного влияния на рыболовство или аквакультуру региона. Значительно большее отрицательное воздействие на водную среду и водные генетические ресурсы оказывает антропогенный фактор, а именно загрязнение воды, эвтрофикация, самопроизвольное проникновение в водные экосистемы экзотических объектов выращивания, браконьерство или потеря местообитаний вследствие гидротехнического строительства и изъятия воды;

- *конкуренция за ресурсы и повышенный спрос на энергию и пресную воду.* В регионе имеется некоторая конкуренция за ресурсы, например, между аквакультурой и рыболовством или с гидроэнергетикой и ирригацией, но эта конкуренция незначительна;

- *внедрение новых биотехнологий.* Новые биотехнологии с выращиваемыми видами практически не используются в промышленности. Дополнительной движущей силой развития водных генетических ресурсов является разработка новых методов селекции для снижения продолжительности разработки новых пород. Научные результаты, такие, как регуляция пола при помощи гормональных препаратов, криоконсервация спермы, гиногенез, полиплоидия, ДНК-контроль за происхождением, по-прежнему остаются на лабораторном уровне, хотя имеют потенциал для будущего развития. Однако следует отметить рост числа использования в производственных условиях методики раннего определения пола осетровых с помощью УЗИ с последующей выбраковкой самцов.

Вопросы рыбоводства, рыболовства и природоохранного законодательства регулируют следующие нормативные и законодательные акты:

- Закон Республики Беларусь «О животном мире»;
- Водный кодекс Республики Беларусь;
- Об утверждении Положения о порядке предоставления водных объектов (их частей) в аренду для рыбоводства и других целей (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 4 октября 2007 г. № 1260);
- О мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь от 8 декабря 2005 г. № 580 «О некоторых мерах по повышению эффективности ведения охотничьего хозяйства и рыбохозяйственной дея-

тельности, совершенствованию государственного управления ими» (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 6 апреля 2006 г. № 466);

- Правила ведения рыболовного хозяйства и рыболовства;

Аквакультура в Республики Беларусь не является видом лицензируемой деятельности. Основное законодательство посвящено правовому регулированию в области рыболовства, аренды водных ресурсов и охраны естественных рыбных ресурсов.

Правовое регулирование в области рыболовства.

Любительское рыболовство в рыболовных угодьях, составляющих фонд запаса рыболовных угодий, а также в рыболовных угодьях, предоставленных в аренду, на которых не организовано платное любительское рыболовство, осуществляется бесплатно в порядке общего пользования объектами животного мира.

Любительское рыболовство в рыболовных угодьях, предоставленных в аренду, на которых организовано платное любительское рыболовство, а также в рыболовных угодьях, предоставленных в безвозмездное пользование по решению Президента Республики Беларусь, осуществляется за плату на основании путевки на платное любительское рыболовство в соответствии с правилами ведения рыболовного хозяйства и рыболовства.

Промысловое рыболовство осуществляется в рыболовных угодьях, предоставленных в аренду или безвозмездное пользование для ведения рыболовного хозяйства. Промысловое рыболовство осуществляют лица, работающие у арендаторов рыболовных угодий на основании трудового или гражданско-правового договора и имеющие промысловые билеты.

Правовое регулирование в области аренды водных ресурсов.

Все воды (водные объекты), находящиеся на территории Беларуси, составляют исключительную собственность Республики Беларусь. К водному фонду относятся:

- поверхностные воды (водные объекты) – реки, ручьи, родники, озера, пруды, водохранилища, каналы и подземные воды;
- водные объекты могут предоставляться в аренду для рыбоводства и других целей в соответствии с законодательством на основании решений местных Советов депутатов.

Водные объекты предоставляются только во временное водопользование. Временное водопользование может быть краткосрочным – до пяти лет – и долгосрочным – от пяти до двадцати пяти лет. Срок водо-

пользования устанавливается органом, выдавшим разрешение на специальное водопользование либо предоставившим водный объект в обособленное водопользование, аренду или безвозмездное пользование.

Не подлежат передаче в аренду для рыбоводства и других целей водные объекты:

- включенные в Республиканскую комплексную схему размещения рыболовных угодий;
- используемые для питьевых, бытовых и иных нужд населения;
- расположенные на территории населенных пунктов и (или) на особо охраняемых природных территориях.

Использование водных объектов, имеющих особое государственное значение либо особую научную, культурную или иную ценность, может быть частично или полностью запрещено по решению Совета Министров Республики Беларусь.

Арендаторы водных объектов обязаны:

- использовать водные объекты по целевому назначению;
- своевременно вносить плату за аренду водных объектов в соответствии с договором аренды водного объекта;
- эксплуатировать водные объекты в соответствии с правилами эксплуатации, утвержденными в установленном законодательством порядке;
- содержать в надлежащем состоянии территории водоохранной зоны и прибрежной полосы водного объекта, переданного в аренду;
- обеспечить обустройство и содержание в надлежащем состоянии отведенных земельных участков, используемых для рыбоводства и других целей;
- ежегодно проводить ихтиопатологическое обследование выращиваемой рыбы и иных объектов аквакультуры, осуществлять мероприятия по предотвращению их заболеваний;
- представлять государственную статистическую отчетность в установленном законодательством порядке;
- осуществлять обращение с отходами в соответствии с законодательством об отходах.

Для получения в аренду рыболовных угодий юридическое лицо представляет в местный исполнительный и распорядительный орган следующие документы: заявление о предоставлении рыболовных угодий в аренду (далее – заявление); проект договора аренды рыболовных угодий; копию карты-схемы (части карты-схемы) соответствующих

рыболовных угодий с нанесенными границами в масштабе 1:50 000; биолого-экономическое обоснование или рыбоводно-биологическое обоснование, имеющее положительное заключение государственной экологической экспертизы (в случае заключения договора аренды на новый срок).

В биолого-экономическом обосновании указываются тип, категория или класс, наименование, площадь, глубина рыболовных угодий, которые планируется арендовать, виды рыбы, обитающей в рыболовных угодьях, лимиты вылова рыбы, рассчитанные в соответствии с нормативами допустимого вылова рыбы, квоты вылова рыбы, орудия и способы рыболовства, которые можно применять при ведении рыболовства, количество орудий рыболовства, количество лиц, которые будут осуществлять промысловое рыболовство и охрану рыболовных угодий, а также расчет планируемых затрат на ведение рыболовного хозяйства в рыболовных угодьях, выручки и рентабельности этой деятельности.

Местный Совет депутатов принимает решение о предоставлении рыболовных угодий в аренду либо мотивированное решение об отказе в предоставлении рыболовных угодий в аренду в месячный срок со дня внесения соответствующего проекта решения местным исполнительным и распорядительным органом, за исключением случая проведения торгов. На основании решения местного Совета депутатов соответствующий местный исполнительный и распорядительный орган в десятидневный срок со дня принятия решения заключает с юридическим лицом договор аренды рыболовных угодий.

Промысловое рыболовство осуществляется арендаторами (пользователями) рыболовных угодий в соответствии с установленными квотами на вылов рыбы. В рыболовных угодьях разрешается промысловое рыболовство всех видов рыбы. В случае вылова рыбы, миног, раков и креветок, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, они должны быть выпущены в рыболовные угодья в живом виде, а факты их вылова и выпуска должны быть отмечены в тоневом журнале.

Правовое регулирование в области охраны естественных рыбных ресурсов.

В соответствии с Законом о животном мире государственное регулирование и управление в области охраны и использования животного мира осуществляют Президент Республики Беларусь, Совет Министров Республики Беларусь, Министерство природных ресурсов и

охраны окружающей среды Республики Беларусь, местные Советы депутатов, исполнительные и распорядительные органы.

Рыбы, обитающие в естественной (дикой) среде, на территории Республики Беларусь находятся в собственности государства. Рыбы, выловленные из естественной среды, выращиваемые в неволе юридическими лицами и гражданами, находятся в их собственности. Пользователи объектов рыбоводства и рыболовства в естественной (дикой) среде обязаны планировать, финансировать и своевременно осуществлять профилактические и другие мероприятия по защите диких животных.

Воспроизводство рыб в дикой (естественной) среде обеспечивается путем создания условий для их естественного и искусственного воспроизводства. Создание условий для естественного воспроизводства диких животных обеспечивается:

- установлением ограничений и запретов на пользование объектами животного мира, а также на проведение в местах размножения диких животных работ, оказывающих вредное воздействие на диких животных и места их размножения;
- нормированием в области охраны и использования животного мира;
- проведением биотехнических мероприятий;
- строительством и эксплуатацией сооружений для прохода диких животных через транспортные коммуникации, плотины и иные препятствия на путях их миграции, а также иных защитных сооружений;
- объявлением особо охраняемых природных территорий, а также резервированием территорий, которые планируется объявить особо охраняемыми природными территориями;
- вселением (включая расселение), интродукцией, реинтродукцией, акклиматизацией, скрещиванием диких животных.

В настоящее время в Республике Беларусь еще не внедрены стандарты, установленные для сбросов азотных, фосфорных и органических веществ, однако рыбоводным хозяйствам запрещен сброс отработанных вод в естественные водоемы без фильтрации. Разрешается сливать воду из рыбоводческих хозяйств в городскую канализацию, заплатив сбор за сброс сточных вод.

Плата за сброс сточных вод приведет к увеличению себестоимости рыбной продукции. На практике это возможно только при высокой степени рециркуляции и, например, при продаже рыбопосадочного материала по высокой стоимости за килограмм.

Очистка сточных вод и сбор твердых частиц имеют перспективы для внедрения в рыбоводные хозяйства и снижения негативного влияния на окружающую среду.

Главные исследовательские и образовательные центры Беларуси в области рыбного хозяйства представлены в таблице табл. 1.51.

Таблица 1.51. **Исследовательские и образовательные организации, занимающиеся вопросами рыбоводства в Беларуси**

Название института	Сфера деятельности
Республиканское унитарное предприятие «Институт рыбного хозяйства» Национальной академии наук Беларуси», Минск	Исследования в области аквакультуры, рационального природопользования и охраны водных ресурсов
Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», Минск	Исследование рыбной экологии, ихтиологии, отдельных аспектов аквакультуры, видового разнообразия и охраны редких видов
Белорусский государственный университет, Минск	Исследование водной экосистемы, подготовка специалистов в сфере гидроэкологии
Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Могилевская область	Специализированная подготовка в области рыбоводства
Полесский государственный университет, Пинск, Брестская область	Специализированная подготовка в области рыбоводства
Свислочское профессионально-техническое училище, Свислочь, Гродненская область	Подготовка специалистов

Для того чтобы решить проблемы продовольственной безопасности и питания населения, в стране была принята Государственная программа поставки рыбы и морепродуктов для населения на 1998–2005 гг. и Государственная программа возрождения и развития села на 2005–2010 гг. В соответствии с этими программами научно-исследовательские институты сформулировали ряд вопросов, подлежащих рассмотрению. Эти вопросы вынесены на рассмотрение и утверждение Научно-техническим Советом Министерства сельского хозяйства и продовольствия. Предложения включены в одну из Государственных программ научных и технологических исследований или сформулированы в виде отдельных инновационных проектов. Для того чтобы проект был одобрен, он должен частично финансироваться за

счет потенциальных пользователей исследовательского продукта. Результаты научных исследований применяются на основе расширенных соглашений между разработчиком и пользователем научного продукта. Подготовка персонала обеспечивается Министерством образования и проводится на курсах повышения квалификации Министерства сельского хозяйства и продовольствия.

В связи с имеющейся информацией знания о проектировании образцовых датских форелевых хозяйств доступны трудоспособному населению. На заметку следует взять организацию следующих краткосрочных и долгосрочных проектов:

- функционирование и процессы биологического фильтра;
- управление биологическим фильтром;
- планирование производства.

Переход от традиционной структуры проточного хозяйства к системе УЗВ подразумевает смещение основного акцента с наблюдения над поведением рыб (это по-прежнему очень важно) на функционирование биологических фильтров.

Опыт Дании показывает, что эти изменения парадигмы требуют повышения квалификации некоторых вовлеченных специалистов. Белорусская государственная сельскохозяйственная академия в Горках может стать отличным выбором для решения задачи, поскольку УО БГСХА обладает всеми ресурсами и опытом.

Таким образом, система земледелия в основном должна быть спроектирована, чтобы обеспечить оптимальное качество воды для конкретных видов, подлежащих разведению на объекте.

1.3. Перспективы развития аквакультуры ценных видов рыб

Наступивший 26 лет назад кризис товарного рыбоводства продолжается до сих пор. На одном карповодстве, которое является основным направлением в рыбоводстве Беларуси, уже невозможно выйти из этого кризиса. Нужен качественно новый толчок в развитии этой отрасли для выхода на новый уровень производства. Поиск новых перспективных объектов для индустриального рыбоводства (аквакультуры) является в настоящее время актуальной проблемой. К таким объектам можно отнести представителей семейств лососевые (*Salmonidae*), окуневые (*Percidae*), щуковые (*Esocidae*), осетровые (*Acipenseridae*) и др. Этот перечень может оказаться весьма значительным, в него войдут даже креветки и раки. Все эти перспективные объекты аквакультуры

сходны, а именно: вкусная, качественная деликатесная продукция; трудность в разведении и выращивании (за исключением некоторых видов); высокая цена. Следует учесть, что цена является перспективным показателем для экспорта в другие страны, но на данном этапе аквакультура Беларуси недостаточно развита, чтобы производить необходимый объем для экспорта, прибыль от которого покрывала бы расходы на выращивание, транспортировку и различные таможенные и налоговые пошлины. Ситуация на европейском рынке такова, что войти в него, особенно странам Восточной Европы исключительно тяжело.

В связи с этим необходимо изыскивать пути развития индустриального рыбоводства в условиях Республики Беларусь, которые позволили бы значительно увеличить производство ценной товарной рыбы и рыбопродуктов, способных конкурировать на европейских рынках.

В настоящее время цена на товарного осетра является высокой. Особенно высокая цена на икру осетровых – от 1000 у. е. за 1 кг.

Икра высоко ценится по причине своих целебных свойств: в ней содержатся липиды, витамины и альбумины, которые, как показали исследования, могут вылечить от анемии, предотвратить или вылечить многие заболевания, продлить жизнь людей. В связи с этим некоторые страны разрабатывают производство заменителей осетровой икры. Так, например, американская фирма «Diamonds-Sharks Caviar» в поисках заменителя осетровой икры осуществляла производство этого деликатеса из акул: для того чтобы получить 1 кг подобной икры, нужно убить около 100 живых самок акул, удалить из их организма яйцеклетки, по разработанной технологии перекрасить их в черный цвет и придать форму икринки [193].

Однако, по существующим оценкам, за период с 1980 по 1992 гг. содержание меди в р. Волге (откуда к нам поступает основной объем осетровой икры) увеличилось в 12 раз, цинка – в 9,7 раз, свинца и кадмия – в 4,9 раза. В 1990 г. вся икра, полученная от осетровых рыб, обитающих в р. Волге, была деформирована, и бывший «блеск черной жемчужины» погас [193]. Аналогичная ситуация складывается и с осетровым мясом. Проведенные нами исследования установили, что в мясе осетровых рыб, выращенных в естественных условиях (поставщик Российская Федерация), обнаружено содержание ртути 0,437 мг/кг (при норме 0,3 мг/кг), т. е. на 45,6 % больше. В мясе осетровых рыб, выращенных в условиях УЗВ Беларуси, ртуть отсутствовала либо не превышала 0,005 мг/кг [10].

Все это есть результат изменения климата, кислотных дождей, чернобыльской катастрофы, загрязнения рек, озер, морей и океанов, пресноводных водоемов, истощения озонового слоя, гибели лесов, промышленных аварий и выбросов. В результате действующей конвенции CITES «О сохранении природного разнообразия», моратория ООН на лов осетровых в бывших советских республиках [6], а также колоссального браконьерства ситуация вокруг продукции осетровых рыб скоро достигнет «точки кипения», итогом чего будет бесконечное повышение уровня цен на осетровое мясо, и особенно на осетровую икру.

Выходом из сложившейся ситуации, на наш взгляд, является выращивание осетровых рыб в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). УЗВ – это новое и молодое направление в индустриальном рыбоводстве Беларуси. Применение таких систем позволяет уменьшить или полностью прекратить сброс загрязненных сточных вод и упростить утилизацию продуктов жизнедеятельности рыб. Появляется возможность безотходного технологического процесса. При этом УЗВ обладают возможностью создания оптимальных условий выращивания, в которых обеспечивается максимальный рост и темп накопления продукции практически любых видов рыб (так, бестер F_2 способен за 1 год достигать массы 2 кг, а сибирский осетр – 1,2 кг [216]); сокращения сроков созревания производителей и получения пищевой икры и рыбопосадочного материала в ранние сроки; обеспечения полного контроля и управления производственным процессом независимо от внешних условий при сохранении ихтиопаталогической и экологической чистоты производственного производства за счет выращивания рыбы в одном и том же объеме воды с применением системы полной очистки и регенерации качества воды до исходного уровня.

Кроме того, проведенные исследования [84] показали повышенное содержание жира у осетровых, выращенных в УЗВ, что является результатом благоприятных условий для протекания липогенеза в условиях повышенной температуры и подтверждается значительным преобладанием фракций триглицеринов (63 %) по сравнению с контролем (48,8 %), почти вдвое меньшим содержанием фосфолипидов и значительным преобладанием в количественном отношении свободных жирных кислот. Осетровые рыбы, выращенные в УЗВ, – это экологически чистый продукт с отличными вкусовыми качествами, обладающий преимуществом перед осетровыми рыбами, выращенными в более традиционных условиях [10]. Можно предположить, что экологи-

ческая чистота условий выращивания положительно скажется на пищевых качествах осетровой икры, так как уникальной сорт черной икры – иранская икра – ценится потому, что исключительный вкус ей придают условия обитания осетровых рыб вдоль иранского побережья Каспийского моря [193].

В настоящее время в Беларуси выращиванием осетровых рыб в УЗВ занимается небольшое количество частных хозяйств. Это белорусско-латвийское предприятие «Акватория» совместно с фермерским хозяйством «Василек» (Дзержинский р-н), а также ООО «ТМ» (Минск). К сожалению, из-за небольшого числа хозяйств подобного типа и из-за незначительного объема производства данная деликатесная продукция не распространена на всей территории Беларуси и по-прежнему обладает высокой ценой. Поэтому массовое строительство хозяйств подобного типа является перспективным направлением для нашей страны.

Вместе с тем у УЗВ есть и другая, более значимая положительная сторона. Это возможность восстановления естественной популяции уже утраченного вида рыб, а именно стерляди (*A. ruthenus*) [18].

Трансформация среды обитания и нерациональная эксплуатация привели к сокращению ряда уязвимых видов рыб, в том числе и стерляди. Принятие ряда охранных мероприятий (объект Красной книги I, II и III изданий) не улучшило ситуацию с состоянием популяции, поскольку не было подкреплено практическими мероприятиями по увеличению крайне низкой численности. В настоящее время численность вида такова, что можно говорить о его потере [52]. Только охранные мероприятия уже не способны повлиять на ситуацию, а следовательно, необходимо переходить к искусственному разведению стерляди и ее вселению в те рыболовные угодья, которые могут отвечать жизненным потребностям вида. Однако из-за низких среднегодовых температур срок получения реальных результатов от таких мероприятий может растянуться на несколько десятилетий. Единственно эффективным способом решения этой проблемы является выращивание производителей и заводское подращивание рыбопосадочного материала в условиях УЗВ, что позволит сократить срок созревания производителей и получать качественную заводскую молодь.

В связи с этим в настоящее время на всей территории постсоветского пространства для повышения эффективности заводского разведения осетровых на рыбоводных предприятиях в существующую биотехнику вносят коренные изменения. Проводятся исследования по со-

кращению количества и рациональному использованию производителей, снижению потерь на всех этапах биотехнического процесса, повышению жизнестойкости выпускаемого посадочного материала, размещению молоди в оптимальных для нагула местах, сокращению количества и рациональному использованию производителей за счет прижизненного получения икры, формированию маточных стад в искусственных условиях, разработке способов вовлечения в рыбоводный процесс рыб с низким исходным качеством [76]. Все это свидетельствует о том, что выращивание осетровых рыб является трудоемким процессом. Особенно это связано с проблемой физиологического состояния и жизнестойкости молоди осетровых при заводском подращивании их в УЗВ.

Поскольку УЗВ является единственно эффективным способом восстановления природной популяции стерляди, актуальной проблемой осетроводства как в Беларуси, так и во всем мире является получение жизнестойкой молоди и адаптация ее к естественным и искусственным условиям содержания. Однако высокие плотности посадки и искусственное кормление неизбежно ведут к существенному изменению условий выращивания, увеличению стрессовых нагрузок на организм рыб и, как следствие, к ухудшению их физиологического состояния [186]. Одним из таких показателей, характеризующих физиологическое состояние, являются показатели крови, а именно гемоглобин.

Кровь – одна из самых динамичных систем организма, которая способствует осуществлению питания, дыхания всех органов, снабжает их гормонами, ферментами, витаминами и другими гуморальными веществами, без которых невозможно нормальное функционирование организма. Гемоглобин крови является главным звеном в обеспечении организма кислородом. Высокое содержание гемоглобина способно обеспечить более высокую интенсивность обмена, с одной стороны, и более широкие адаптационные возможности для выклева в неблагоприятных условиях – с другой. Однако проведенные исследования [186] показали, что молодь осетровых рыб, выращенная в условиях УЗВ, характеризуется низким содержанием гемоглобина. Это, возможно, объясняется запаздыванием кроветворной системы на фоне интенсивного соматического роста. Это состояние называют ложной, или физиологической, анемией. Для него характерно недостаточное насыщение эритроцитов гемоглобином. Вероятно, что высокое содержание кислорода в воде УЗВ (за счет оксигенации) позволяет обеспечивать метаболические процессы, активно протекающие в организме

рыб [186]. Поэтому низкие показатели гемоглобина не являются проблемой в случае дальнейшего товарного выращивания осетровых в УЗВ, но запаздывание в развитии кроветворной системы снизит качество молоди, предназначенной для зарыбления в естественные водоемы. Поэтому разработка методик, стимулирующих развитие кроветворной системы, улучшение основных показателей крови, а также других показателей, характеризующих жизнестойкость молоди осетровых рыб, является актуальным.

Одним из таких методов может быть использование лазерно-оптических технологий. Как известно, фотоакцептором, избирательно поглощающим лазерное излучение в крови, является гемоглобин. Энергия кванта лазерного излучения, поглощенного кровью, достаточна для активации процесса фотодиссоциации комплексов гемоглобина с лигандами (HbX). Уже при используемых в медицинской практике дозах лазерного излучения фотодиссоциация HbX может быть первичной стадией многоступенчатого процесса лазерной фотоактивации [57]. Кроме того, лазерное излучение эффективно поглощается производными гемоглобина, в частности, оксигемоглобином (HbO₂) и карбоксигемоглобином (HbCO), в кровеносных сосудах [5]. Определенную роль в механизме действия лазерного излучения на организм играет и теплообразование [77]. Во время возбуждения лазерным излучением электронных состояний большая часть энергии неизбежно превращается в тепло, что вызывает локальное и преходящее увеличение температуры абсорбирующих хромофоров. Локальный нагрев и градиент температуры прямо или косвенно могут влиять на активность ферментов и скорость катализируемых ими реакций, диффузионные процессы, местные терморегуляционные процессы, микроциркуляцию и кровообращение. В связи с этим минимальные изменения в структуре или физико-химических свойствах сопровождаются существенными для жизнедеятельности организма сдвигами, что способствует развитию прижизненных систем организма [185].

Таким образом, развитие индустриального рыбоводства неразрывно связано с использованием УЗВ, что будет способствовать развитию производства деликатесной продукции, а также восстановлению естественной популяции стерляди. При этом, по предварительным оценкам, изучение влияния лазерного излучения на показатели жизнестойкости осетровых рыб при подрощивании их в установках замкнутого водоснабжения будет способствовать совершенствованию технологии работы с посадочным материалом на рыбоводных заводах.

Государственной программой развития рыбохозяйственной деятельности на 2011–2015 гг., утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 7 октября 2010 г. № 1453 (далее – Государственная программа), предусмотрено выделение финансовых средств в размере 1496,3 млрд. руб., в том числе средств республиканского бюджета 270,8 млрд. руб., из них выделено всего 729,4 млрд. руб. (48,7 %), в том числе республиканского бюджета 184,1 млрд. руб. (68 %). Предусмотренные Государственной программой льготные кредиты не выделялись банками в полном объеме в связи с неплатежеспособностью большинства рыбоводных организаций и недостатком ресурсов в банках.

Одним из основных направлений Государственной программы является развитие индустриального рыбоводства по выращиванию ценных видов рыб (лососевые, осетровые, сомовые).

Государственной программой предусматривалось создание 16 индустриальных комплексов по производству товарной продукции и двух специализированных рыбопитомников по производству рыбопосадочного материала ценных видов рыб.

За период действия Государственной программы в республике введено в эксплуатацию четыре индустриальных комплекса по выращиванию лососевых и осетровых видов рыб общей мощностью 770 т товарной продукции в год: индустриальные комплексы по производству лососевых видов рыб в Быховском, Костюковичском и Бельничском районах Могилевской области и первая очередь садковой линии по выращиванию осетровых видов рыб в Березовском районе Брестской области (ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»). Кроме того, ввод в строй в сентябре 2012 г. рыбопитомника по выращиванию рыбопосадочного материала лососевых видов рыб на базе УО БГСХА г. Горки позволил полностью обеспечить собственным рыбопосадочным материалом лососевых видов рыб индустриальные рыбоводные комплексы республики и исключить импорт. Всего на создание рыбоводных индустриальных комплексов затрачено около 300 млрд. рублей.

Планируется ввести в строй первую очередь индустриального рыбоводного комплекса по выращиванию форели в Столбцовском районе Минской области (ОАО «Альба») мощностью 268 т.

В связи с отсутствием источников финансирования не начата реализация проектов по созданию индустриальных рыбоводных комплексов в рыбоводных организациях ОАО «Рыбхоз «Волма» (Минская область), ОАО «Рыбхоз «Свислочь» (Могилевская область),

ОАО «Рыбхоз «Новинки» (Витебская область), товарно-маточного форелевого комплекса на реке Днепрец в Горецком районе Могилевской области.

Ввиду сокращения финансовых средств на мероприятия Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС приостановлена реализация проектов по созданию индустриальных рыбоводных комплексов в Славгородском, Краснопольском и Чериковском районах Могилевской области.

В настоящее время по причине ошибок допущенных израильскими специалистами при разработке технологии выращивания клариевого сома для ИООО «Рыбоводное хозяйство «Ясельда», введенная в строй в 2012 г. первая очередь базового рыбоводного комплекса законсервирована и не работает. По этой же причине прекращены подготовительные работы по проектированию индустриальных рыбоводных комплексов по выращиванию осетровых видов рыб в ОАО «Рыбхоз «Полесье» Пинского района Брестской области и клариевого сома в г. Светлогорске Гомельской области. В результате образовавшейся задолженности перед ОАО «Белагпромпобанк» приостановлена и перенесена на 2016 г. реализация проекта по выращиванию сомовых видов рыб в ОАО «Рыбхоз «Днепробугский» Дрогичинского района Брестской области.

Объем производства товарной рыбы в республике в 2015 г. планировалось довести до 25,2 тыс. т, в том числе Минсельхозпроду 19,7 тыс. т. Ценных видов рыб – 3,8 тыс. т (15 % от общего производства рыбы), в том числе Минсельхозпроду 1,28 тыс. т за счет реконструкции в рыбоводных организациях существующих производственных площадей (садковые линии, бетонные бассейны), строительства специализированных рыбопитомников для получения собственного посадочного материала ценных видов рыб и строительства индустриальных рыбоводных комплексов по выращиванию лососевых, осетровых и сомовых видов рыб.

Справочно. В 2014 г. произведено (реализовано) 10,51 тыс. т товарной рыбы (46,6 % к заданию на 2014 г. и 81,4 % к уровню 2013 г.), в том числе прудовой – 9,46 тыс. т, озерно-речной – 762,2 т, ценных видов рыб – 293,3 т (2,7 % от общего объема производства товарной рыбы). Основными причинами снижения объемов выращивания является недостаток финансовых средств для закупки комбикормов в течение всего вегетационного периода и невозможность поддержания оптимального уровня воды в рыбоводных прудах. За январь – сентябрь

2015 г. произведено 5,7 тыс. т товарной рыбы (22,6 % к заданию на 2015 г.), в том числе прудовой – 4,8 тыс. т, озерно-речной – 618 т, ценных видов рыб – 263 т (5,3 % от общего производства). Ежегодный импорт ценных видов рыб составляет от 5 тыс. т в 2011 г. до 30 тыс. т в 2014 г. За восемь месяцев 2015 г. – 21,7 тыс. т. Экспорт – от 1 тыс. т до 11 тыс. т соответственно. За восемь месяцев 2015 г. – 6 тыс. т.

В 2015 г. финансовое положение рыбхозов с учетом предоставленной им государственной поддержки значительно улучшилось к аналогичному периоду прошлого года. Из 17 рыбхозов чистый убыток получили 8 рыбхозов, (за этот период 2014 г. убыточных было 13 из 17). Сумма чистого убытка в текущем году по рыбхозам составила 10,1 млрд. руб. (в 2014 г. она составляла 53,9 млрд. руб.).

В настоящее время в республике действует 10 рыбоводных индустриальных комплексов по выращиванию ценных видов рыб общей мощностью 873 т рыбной продукции в год. В 2015 г. планируется произвести 500 т, или 57,3 %.

Дальнейшее направление развития индустриального рыбоводства в республике предусмотрено в мероприятиях Государственной программы развития аграрного бизнеса Беларуси на 2016–2020 гг. Планируется завершить строительство второй очереди индустриального рыбоводного комплекса по выращиванию форели в Столбцовском районе Минской области (ОАО «Альба»), второй очереди садковой линии по выращиванию осетровых видов рыб в Березовском районе Брестской области (ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»), реконструкцию бетонных бассейнов для выращивания сомовых видов рыб в ОАО «Рыбхоз «Днепробугский» Дрогичинского района Брестской области и начать строительство индустриального рыбоводного комплекса по выращиванию форели в ОАО «Рыбхоз «Волма». Для этого в программе предусмотрено 160 млрд. руб. кредитных ресурсов. Реализация данных мероприятий позволит довести объем производства ценных видов рыб в 2020 г. до 1,5–1,7 тыс. т. Но при этом необходимо подчеркнуть, что реализация данных мероприятий возможна при условии льготного кредитования строительства объектов индустриального рыбоводства (до 3 % годовых) и выплаты основного долга по выданным кредитам через два года после введения объекта в эксплуатацию.

Кроме того, проектом подпрограммы «Развитие рыбохозяйственной деятельности» в 2016–2020 гг. предусмотрено финансирование мероприятий за счет республиканского бюджета на:

- техническое переоснащение рыболовных организаций – предусмотрено 30,4 млрд. руб., в том числе в 2016 г. – 5,0 млрд. руб.;
- приобретение комбикормов – предусмотрено 397,0 млрд. руб., в том числе в 2016 г. – 65,2 млрд. руб.;
- известкование прудов – предусмотрено 20,4 млрд. руб., в том числе в 2016 г. – 3,3 млрд. руб.;
- проведение лечебно-профилактических мероприятий – предусмотрено 6,5 млрд. руб., в том числе в 2016 г. – 1,1 млрд. руб.;
- внедрение поликультуры растительноядных видов рыб – 2,7 млрд. руб., в том числе в 2016 г. – 0,4 млрд. руб.;
- создание научно-экспериментальной базы РУП «Институт рыбного хозяйства» и формирование республиканского селекционно-генетического центра – 133,2 млрд. руб., в том числе в 2016 г. – 22,5 млрд. руб. (пилотные инновационные объекты).

1.4. Современное состояние, технологии выращивания и перспективы развития аквакультуры осетровых

Осетрообразные (*Acipenseriformes*) – одна из старейших форм пресноводных и проходных рыб, живущих на земле около 200 млн. лет. Литературные источники сообщают об обнаружении останков представителей рода *Acipenser* в Англии (возраст 29 млн. лет) и Германии (15 млн. лет) [292, 216, 305].

По современным данным, отряд *Acipenseriformes* охватывает 27 различных видов, численность большинства которых значительно сокращена, а некоторые находятся под угрозой вымирания или уже классифицируются как вымершие [386, 225, 351, 222, 350].

Осетровые рыбы с давних пор составляли национальное достояние многих государств. Эти уникальные реликтовые виды рыб, пережившие миллионы лет эволюции и приспособившиеся к самым разнообразным экологическим условиям, в настоящее время находятся на грани полного исчезновения [30, 176, 1]. Снижение запасов *Acipenseridae* является международной проблемой. В США, например, запасы осетровых рыб были безжалостно истреблены начиная со второй половины XX ст. [323].

В прошлом осетровые обитали повсеместно в водоемах Северного полушария, но к началу XXI ст. остатки былых мощнейших естественных популяций этих рыб сохранились в основном только в Каспий-

ском бассейне, в котором сосредоточена основная часть мировых запасов осетровых рыб [343, 28, 34, 35].

Среди причин резкого падения численности осетровых в первую очередь следует назвать ухудшение экологической обстановки, снижение эффективности воспроизводства, а также изменение геополитической ситуации. Не последнюю роль играет криминальный промысел осетровых рыб [30, 25, 187]. Например, в районе Азовского бассейна в результате хищнического браконьерства количество реализуемых за сутки экземпляров на «черных» рынках превышает число производителей, поступающих на осетровые рыбоперерабатывающие заводы в течение года [141].

Статистика промысловых уловов свидетельствует о неуклонном снижении численности нерестового стада осетровых в р. Волга, хотя при прогнозировании предполагался его рост за счет поколений, полученных на рыбоводных заводах в 70–80-е гг. [54, 94]. Интенсивное загрязнение нерестовых рек и Каспия токсическими отходами промышленности и сельского хозяйства привело к комплексному воздействию всех этих негативных факторов, что в итоге негативно отразилось на численности и физиологическом состоянии рыб, а также на эффективности естественного воспроизводства [66, 31].

На территории Беларуси в историческом аспекте аборигенными видами являются русский осетр (*A. gueldenstaedti*) и стерлядь (*A. ruthenus*) [52]. Единичными экземплярами заходили белуга (*Huso huso*), которая поднималась по Днепру до Могилева и выше, балтийский осетр (*A. sturio*), который заходил в Неман и низовья Западной Двины [52]. Численность популяции *A. gueldenstaedti* была подорвана уже в конце XIX в., а после строительства плотин ГЭС этот вид был вычеркнут из ихтиофауны Беларуси. Мелкий туводный вид – *A. ruthenus* – ранее единично встречался в реках Березина и Днепр в пределах Могилевской области, а ныне объект «Красной книги» как вид, находящийся под угрозой вымирания [105]. Следует отметить, что главным фактором значительного снижения численности осетровых в Днепре к концу XIX в., а в протекающих западнее европейских реках на 50–100 лет ранее является именно усиленный промысел [104, 106].

Ценность и вкусовые качества осетровых рыб известны издавна, и, чтобы не лишать себя этого продукта питания, следует на научной основе развивать товарное осетроводство в Беларуси [103].

Осетровые достаточно требовательны к условиям воспроизводства [229, 285, 217]. Однако гидрология ряда рек изменена столь значи-

тельно, что естественное размножение осетровых в них становится невозможным. В этом случае ответственность за их сохранение полностью ложится на человека [141], а именно на аквакультуру осетровых рыб. Обширные научные исследования в области осетроводства, строительство осетровых заводов, направленных прежде всего на выпуск подращенной молодежи в естественные водоемы, должны помочь изменить всемирную тенденцию сокращения, истребления и вымирания этих древнейших рыб [382]. В последние годы существенное значение приобретает проблема развития товарного осетроводства. Во-первых, это позволит удовлетворить в определенной мере спрос населения на эту продукцию и, во-вторых, снизить пресс на природные запасы этих видов рыб [179, 157]. Все представители семейства *Acipenseridae* характеризуются прежде всего высококачественным мясом и деликатесной черной икрой [342, 55, 237, 301, 412].

Наиболее широкое распространение в аквакультуре осетровых в странах СНГ получили сибирский осетр (*A. baeri*) ленской популяции, гибрид РО × ЛО (*A. gueldenstaedti* × *A. baeri*), гибрид бестер (*Huso huso* × *A. ruthenus*), а также их возвратные гибриды (например С.БС) [28]. В США в качестве объекта аквакультуры широко используется белый осетр (*A. transmontanus*) [210]. О попытках размножения сибирского осетра (*A. baeri*) известно из работ ученых Японии (с 1964 г.), Франции (с 1973 г.) и Венгрии (с 1981 г.) [347, 348].

В западных странах, в отличие от давно известных объектов аквакультуры, таких, как лососевые и карповые, выращивание и разведение осетровых в условиях аквакультуры направлено прежде всего на получение пищевой черной икры [295, 250]. Осетровая икра является дорогим деликатесом [175], что стало причиной катастрофического вылова этих ценных видов рыб во второй половине XX ст. [225, 381].

Разгром основных промысловых стад осетровых в начале 90-х гг. XX ст. привел к резкому сокращению производства пищевой икры. Коренного улучшения ситуации с естественными запасами осетровых в ближайшей перспективе не ожидается, поэтому рост объемов производства икорной продукции возможен лишь за счет рыб, выращиваемых в условиях аквакультуры [120]. К середине 1980-х гг. стало ясно, что дальнейшее развитие заводского осетроводства немыслимо без формирования в искусственных условиях маточных стад [140, 143].

В настоящее время в мире появляются рыбоводные предприятия по воспроизводству осетровых рыб, производству осетрового мяса и икры в полностью искусственных управляемых условиях, например в УЗВ

[288]. В данных хозяйствах получение пищевой и овулированной икры возможно круглогодично при достижении максимальных показателей роста, продуктивности, а также достижении половой зрелости в рекордные сроки по отношению к естественным условиям [235, 301].

Культивирование рыб в УЗВ представляет собой переход индустриального рыбоводства на качественно новый уровень. Благодаря современному технологическому оборудованию даже при высоких плотностях посадки (более 100 кг/м^3) стало возможным устойчивое поддержание в водной среде благоприятного для выращиваемых объектов кислородного и температурного режимов [349].

Пионерами в товарном осетроводстве Беларуси с 2001 г. являются негосударственные предприятия с различной формой собственности, имеющие бассейновые цеха с УЗВ [103, 105]. Кроме того, по данным А. И. Козлова [80], в Беларуси в лабораторных условиях в период 1987–1989 гг. осуществлялось экспериментальное выращивание ленского осетра.

2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ В РЫБОВОДНЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

2.1. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах

Потребление рыбы и продуктов ее переработки – важный показатель уровня и качества жизни населения. Потребность в этих продуктах удовлетворяется рыбохозяйственным комплексом, представляющим собой сложный многоотраслевой производственный механизм [169]. В условиях, когда уловы океанической рыбы и других морепродуктов сокращаются, а рыбные запасы внутренних водоемов находятся в критическом состоянии и поддерживаются в основном за счет искусственного воспроизводства, единственным надежным источником увеличения объемов пищевой рыбопродукции является аквакультура – культивирование рыб, других водных животных и растений в контролируемых и управляемых человеком условиях [107]. По данным FAO, производство рыбы и морепродуктов в условиях аквакультуры к 2010 г. достигнет 53 млн. т в год, а к 2030 г. ожидается увеличение объема производства до 83 млн. т в год [270].

Государственной программой развития рыбохозяйственной деятельности на 2011–2015 гг. предусмотрено значительное увеличение объемов выращивания товарной рыбной продукции. Вместе с тем дальнейшее развитие аквакультуры Беларуси невозможно без освоения и внедрения инновационных технологических направлений, одними из которых являются рыбоводные индустриальные комплексы, работающие на принципах установок замкнутого водоснабжения (УЗВ).

УЗВ позволяют осуществлять круглогодичное выращивание любых видов аквакультуры вне зависимости от климатических условий при одновременном достижении максимальных показателей роста и продуктивности на фоне сбережения ресурсов и обеспечения экологической чистоты производственного процесса [327].

Аквакультуру Беларуси можно разделить на прудовую аквакультуру, садковую аквакультуру, как в водоемах-охладителях электростанций, так и в естественных условиях, установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) и пастбищное рыбоводство в естественных водоемах [310].

В последние годы в Беларуси активно развивается аквакультура в УЗВ. В рамках государственных программ, а также в рамках частных и иностранных инвестиций начиная с 1998 г. было реализовано более 13 проектов по созданию рыбоводных индустриальных комплексов на базе УЗВ по выращиванию таких рыб, как осетровые (ЧПУП «Акватория» фермерского хозяйства «Василек» Дзержинского р-на; КСПА «Несвижская» Несвижского р-на; ООО «ТМ» г. Минска; ООО «Ремона» г. Могилева; СП «Санта Бремор» ООО г. Бреста), клариевые (ИООО «Ясельда» Березовского района), лососевые (УО БГСХА г. Горки; КПУП «Форелевое хозяйство «Лохва» Быховского р-на; форелевое хозяйство Костюковичского р-на; ОАО «ПМК-83 Водстрой» Бельничского р-на; «Рыбопитомник «Богушевский» УП «Льозненское ПМС» Льозненского р-на; ОАО «Рыбхоз «Альба» Несвижского р-на); угревые (фермерское хозяйство «Актам Фиш» Миорского р-на) и др. [310].

УЗВ позволяют повысить уровень интенсификации технологии воспроизводства большинства объектов аквакультуры, особенно ценных видов, однако дальнейшее повышение интенсификации воспроизводства объектов рыбоводства сталкивается с необходимостью системного подхода к освоению и внедрению новых инновационных технологий.

На современном этапе развития аквакультуры необходимо делать разграничения в технологии выращивания одного и того же вида в зависимости от конечных целей. Например, при выращивании осетровых в условиях аквакультуры имеются три основных направления: выращивание посадочного материала для зарыбления естественных водоемов; товарное выращивание; выращивание рыбы с целью воспроизводства (получения посадочного материала или пищевой икры) [189]. Каждое из названных направлений имеет отличительные особенности, нарушение которых приводит к снижению результативных показателей.

Воспроизводство ценных видов рыб – это сложный технологический процесс, включающий в себя работу с производителями, получение посадочного материала, формирование ремонтного и маточного стада. Каждый этап данного технологического процесса влияет на успех следующего этапа и в целом всей технологии воспроизводства: успех получения жизнестойкого посадочного материала зависит от продуктивности, здоровья и качества производителей из маточного стада; полноценное ремонтное стадо формируется из посадочного ма-

териала, который должен выращиваться по другой, отличной от товарного выращивания технологии; продуктивность рабочего маточного стада зависит от эффективности отбора и качества ремонтного стада. Каждый из названных элементов, в свою очередь, зависит от условий и технологии выращивания (рис. 2.1).

Для повышения эффективности каждого этапа процесса воспроизводства необходимо не только строго выполнять весь технологический цикл, но и внедрять систему новых инновационных методов.

Исследования были проведены в 2006–2015 гг. на базах кафедры ихтиологии и рыбоводства УО БГСХА, кафедры биотехнологии и ветеринарной медицины УО БГСХА, кафедры крупного животноводства и переработки животноводческой продукции УО БГСХА, Института физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Национального института водных исследований Датского технического университета (Дания), Финского научно-исследовательского института охоты и рыболовства (Финляндия), а также в рыбоводных организациях Республики Беларусь.

В качестве объектов исследований были использованы установки замкнутого водоснабжения, осетрообразные (стерлядь, русский осетр, ленский осетр, белуга, гибриды бестер и РОЛО, веслонос) и лососевые (радужная форель) различного возраста и их половые продукты (икра и сперма), а также науплии артемии.

Исследования выполняли в рамках Государственной программы научных исследований на 2011–2015 гг. «Электроника и фотоника»; Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований; Инновационного фонда Минсельхозпрода Республики Беларусь; Программы региона Балтийского моря на 2007–2013 гг. при частичном финансировании Европейского союза и гранта Германской службы академических обменов, а также в рамках проведения хоздоговорных тематик с рыбоводными хозяйствами Беларуси.

Проведенные исследования соответствовали направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг. Составная часть исследований соответствовала национальным интересам Республики Беларусь и одобрена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь.

Для решения задачи по разработке теоретических и практических основ, а также новых технологических решений развития рыбоводных индустриальных комплексов на основе УЗВ для выращивания и воспроизводства объектов аквакультуры в рамках проведенных исследо-

ваний совместно с Датским техническим университетом и Финским научно-исследовательским институтом охоты и рыболовства нами были созданы рекомендации по увеличению эффективности механической и биологической очистки воды, предназначенной для выращивания ценных объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах, функционирующих на основе технологий УЗВ [216]. Были найдены оптимальные параметры плотности посадки, скорости воды, аэрации, оксигенации, биологической загрузки, которые позволят повысить уровень эксплуатации типовых УЗВ, построенных и строящихся в рамках Государственной программы развития рыбохозяйственной деятельности на 2011–2015 гг. и других отраслевых и региональных программ. Кроме того, в рамках проведенных исследований, разработаны рекомендации по внедрению новых УЗВ модульного типа, позволяющих значительно повысить эффективность выращивания ценных видов рыб (преимущественно лососевых) за счет снижения энергозатрат [327].

Для решения задачи по разработке новой технологии повышения эффективности выращивания жизнестойкого посадочного материала ценных видов в рыбоводных промышленных комплексах нами в результате многолетних и фундаментальных исследований были научно обоснованы и успешно получены новые результаты, свидетельствующие о стимулирующем влиянии низкоинтенсивного оптического излучения на рыбоводно-биологические и хозяйственно полезные качества посадочного материала осетровых и лососевых. На основании проведенных исследований были научно обоснованы параметры и дозировки оптического излучения, позволяющие осуществлять внедрение данного метода в производство [333, 334, 337, 338]. Совместно с Институтом физики НАН Беларуси было осуществлено создание новых приборов, позволяющих осуществлять массовое облучение икры рыб оптическим излучением в условиях производства. Нами был создан лазерно-оптический прибор «Стронга» для облучения икры рыб, при инкубации икры, находящейся в неподвижном положении (преимущественно икры радужной форели), и лазерно-оптический прибор «Sturgeon» для облучения икры рыб, инкубирующихся в аппаратах Вейса (преимущественно икры осетровых рыб). Данные приборы позволили повысить эффективность инкубации икры ценных видов рыб и получать качественный рыбопосадочный материал.

Разработка оптимальных параметров светового режима для выращивания посадочного материала в рыбоводных промышленных ком-

плексах позволила выявить стимулирующие зависимости продолжительности светового дня и темноты, а также необходимую потребность в поляризованном свете.

Нами были проведены исследования по выявлению оптимальных параметров и разработке технологии использования низкоинтенсивного оптического излучения для стимуляции выклева науплий артемии, применяемых в современной аквакультуре в качестве живого корма для стартового кормления личинок ценных видов рыб в рыбоводных промышленных комплексах [14, 339]. Кроме того, проведенные исследования позволили разработать новую методику использования науплий артемии в качестве биообъекта для проведения биологических, физических и других исследований за счет снижения толщины защитных оболочек путем применения новых декапсулирующих растворов.

Для решения задачи по разработке технологии формирования ремонтных стад ценных видов рыб в рыбоводных промышленных комплексах на основании проведенных исследований были предложены новые технологические решения для целей воспроизводства. Так, был разработан атлас ультразвуковых снимков стадий зрелости гонад при разном уровне интенсификации и физиологического состояния, позволяющий осуществлять эффективную оценку уровня развития половой системы с целью отбора в ремонтное стадо. Были выявлены биохимические параметры-маркеры для оценки уровня потенциальной фертильности ремонтного стада. Установлены гормональные параметры-маркеры для оценки уровня потенциальной фертильности ремонтного стада [9, 11, 15, 218]. Нами в первые в мировой практике аквакультуры разработан новый способ диагностики пола стерляди и других осетровых, позволяющий в 2 раза раньше осуществлять идентификацию пола, чем при других известных способах. Данный способ будет использоваться с целью формирования ремонтных стад осетровых рыб на более ранних сроках.

Для решения задачи по разработке новой технологии повышения воспроизводительной функции ценных видов рыб на основании проведенных исследований были разработаны способы повышения качества воспроизводства на основе использования оптического излучения низкой интенсивности. Создан инновационный способ надвального воздействия оптическим излучением на производителей. В результате такого воздействия у самок повышался ответ на гормональное стимулирование, а также качество получаемых половых продуктов. У сам-

цов наблюдалось повышение качества спермопродукции в виде увеличения подвижности и сроков хранения [17]. Также в результате многолетних фундаментальных исследований нами были разработаны оптимальные параметры воздействия оптического излучения непосредственно на сперму рыб, приводящие к повышению их качественных показателей [19, 20, 219].

Исследования с использованием методик компьютерного анализа спермы рыб позволили разработать новую технологию увеличения продолжительности краткосрочного хранения и транспортировки свежеохлажденной спермы для целей воспроизводства без использования криоконсервации с сохранением высоких показателей подвижности.

В результате многолетних исследований, проведенных в рамках международных, фундаментальных и инновационных научно-исследовательских проектов, нами разработана и научно обоснована система рыбоводно-технологических и физико-биохимических методов регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах для решения проблемы обеспечения населения высококачественной ценной рыбной продукцией.

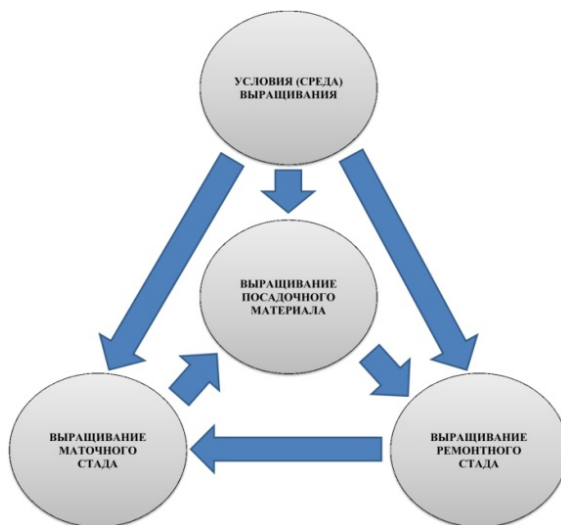


Рис. 2.1. Система взаимосвязи основных этапов технологии воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах

2.2. Стратегия развития аквакультуры осетровых рыб в Республике Беларусь

В рыбоводстве Беларуси доминирующим направлением является прудовое выращивание карповых рыб, в меньшей степени идет развитие технологий индустриального выращивания более ценных видов рыб: форели, осетровых, угря и др. [310]. Осетровые – это древние реликтовые виды рыб, которые представляют интерес как для сохранения биологического разнообразия Беларуси (например, стерлядь), так и как источник деликатесной продукции (в виде мяса и икры) с большим экспортным потенциалом.

В связи с этим предлагается систематизировать современные технологии аквакультуры для разработки единой стратегии развития осетроводства в Республике Беларусь. Реализацию данной стратегии предлагается осуществить на базе рыбоводных организаций при участии Национальной академии наук Беларуси, Белорусского государственного университета и Белорусской государственной сельскохозяйственной академии под контролем Министерства сельского хозяйства и продовольствия и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Современное состояние осетроводства Беларуси. Современное осетроводство развивается по трем частично независимым направлениям: икорное, мясное и восстановление природных популяций [189]. Отдельным объединяющим поднаправлением является искусственное воспроизводство [8]. Эффективность реализации этих направлений зависит от соблюдения узкопрофильных технологических особенностей. Осетроводством в Беларуси занимаются следующие организации: ООО «Фирма Ремона» (г. Могилев, установка замкнутого водоснабжения (УЗВ), мясное направление), фермерское хозяйство «Василек» (Дзержинский р-н, УЗВ, икорно-мясное направление), Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (г. Горки, УЗВ, учебное икорное направление), ООО «Терра-Фиш» (г. Новолукомль, садки, икорное направление), ЗАО «ДГ-Центр» (г. Фаниполь, УЗВ, икорное направление), ЗАО «Агрокомбинат Несвижский» (УЗВ, мясное направление), ОАО «Рыбхоз Волма» (Червенский р-н, пруды, мясное направление), ОАО «Опытный рыбхоз Селец» (Березовский р-н, пруды, садки, бассейны, икорно-мясное направление), ОАО «Рыбхоз «Полесье» (Пинский р-н, пруды, мясное направление), СП «Санта Бремор» ООО (г. Брест, УЗВ, икорное направление), хозрасчетные

участки Института рыбного хозяйства (Минская обл., пруды, экспериментальное выращивание веслоноса) и др. [8], общий объем производства в которых составляет около 100 т осетрового мяса и 500 кг икры.

Основные положения стратегии развития осетроводства.

Икорное осетроводство – это элитное и перспективное направление аквакультуры. Черная икра – дорогой и эксклюзивный продукт, рассчитанный на состоятельного потребителя. Еще недавно цена за 1 кг икры начиналась от 1000 евро [231], при этом, несмотря на высокую стоимость продукта, имеется постоянный спрос, особенно в европейских странах и США. Икорное осетроводство Беларуси необходимо развивать по двум технологическим направлениям: производство овулированной (полученной прижизненно) икры и производство забойной (полученной от забоя самок) икры. Ключевыми особенностями в данных направлениях являются следующие:

1) овулированная икра – это более дешевый продукт ввиду необходимости дополнительной обработки (термообработки и т. д.) для придания свойств зернистости. По этой причине такая икра плохо воспринимается на ключевых (европейский, северо-американский) рынках, но имеет хорошую перспективу на развивающихся, прежде всего российском и восточно-азиатском. Однако овулированную икру можно получать в больших объемах за счет создания постоянно действующего дойного стада самок;

2) забойная икра – это более дорогой продукт, соответствующий настоящей зернистой икре, которая особенно ценится в Европе, т. е. обладает большим экспортным потенциалом. Основным недостатком технологии получения такой икры является необходимость содержания многочисленного стада икорных самок для бесперебойной технологии из-за постоянного убытия от забоя.

Технология икорного осетроводства включает в себя следующие основные этапы: формирование ремонтного стада, ускорение развития репродуктивной системы, формирование икорного стада самок, стимулирование созревания икры, получение икры-сырца, переработка и упаковка. Для успешного развития икорного осетроводства необходимо делать технологические разграничения от мясного осетроводства.

1. Необходимость выращивания только самок и, соответственно, применения способов ранней диагностики пола на основе новых методов УЗИ и технологий Белорусской государственной сельскохозяйственной академии [8, 9].

2. Выращивание отобранных самок необходимо осуществлять в условиях бережного и селективного кормления специализированными для производителей комбикормами с целью сохранения здоровья внутренних органов, главным образом печени, играющей ключевую роль в вителлогенезе. Для осуществления этой технологической особенности необходимо использовать отличные от товарного выращивания схемы кормления. Например, при использовании кормов фирмы Coppens последовательная схема применения кормов для ремонтного и маточного стада будет следующей: Coppens Steco 46/15; Coppens Steco Caviar 50/12; Coppens Repro 48/13 [23]. Также представляет интерес регулярное использование рыбного фарша при кормлении для более качественного развития икры.

Для выявления проблем с печенью необходимо использовать современные методы диагностики, позволяющие выбраковывать некондиционных самок еще на ранней стадии своего развития (УЗИ, биохимические, гормональные и др.) [8, 9].

3. Выращивание производителей необходимо осуществлять при более низкой плотности посадки, чем при товарном выращивании, при этом оптимальная средняя плотность посадки должна составлять не более 45 кг/м².

Для развития производства овулированной икры необходимо осуществлять совершенствование технологии ее переработки с дальнейшим отказом от термообработки, используя новые методы (например, использование сигнальных молекул [308]), что позволит улучшить качество данной икры, приближая к качеству забойной. Разработка такой технологии возможна на базах СП «Санта Бремор» ООО или КПУП «Белрыба» и др. при участии Научно-практического центра НАН Беларуси по продовольствию и Могилевского государственного университета продовольствия.

Относительная простота современных технологий получения овулированной икры, а также быстрый срок созревания позволит создать массовый высококачественный продукт, который будет особенно полезным для питания в детских садах, начальных классах школ, санаториях, различных медицинских центрах реабилитации. С учетом создания Белорусской АЭС и расширения предложений по снижению стоимости электроэнергии перспективным для производства овулированной икры являются технологии выращивания рыбы в УЗВ, в которых возможно значительно сократить сроки созревания самок (особенно стерляди, 20 % которой в УЗВ начинает созревать после третьего года)

и осуществлять круглогодичное получение икры-сырца за счет регулирования суммы градусо-дней. Получение икры-сырца возможно при строительстве новых УЗВ-ферм, а также на базах действующих хозяйств: ООО «Фирма Ремона», фермерское хозяйство «Василек», ЗАО «Агрокомбинат Несвижский». Кроме того, опыт Белорусской государственной сельскохозяйственной академии показывает, что в условиях холодноводных УЗВ возможно получение икры-сырца от стерляди с 4-го года жизни. Поэтому увеличение объемов производства икры возможно за счет использования форелевых промышленных комплексов на основе УЗВ: КПУП «Форелевое хозяйство «Лохва», КПУП «Форелевое хозяйство «Высокое», ОАО «Рыбхоз «Альба» и др. Переработку овулированной икры целесообразно создавать на действующих рыбоперерабатывающих предприятиях (например, СП «Санта Бремор» ООО), которые также могли бы стать единой базой для накопления и хранения икры-сырца, полученной от рыболовных организаций. Следует сказать о необходимости создания конструкторских бюро на базах Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и РУП «Белгипроводхоз» для разработки современных проектов УЗВ. При конструировании УЗВ для целей осетроводства необходимо учитывать следующие особенности: 1) осетровые являются бентофагами, соответственно, плотность их посадки зависит главным образом от площади бассейна, а не от его объема; 2) необходимо предусматривать цеха естественной и искусственной зимовки с учетом фотопериода и цехов вывода на нерестовый режим. Для массового производства овулированной икры больше подходит стерлядь. Для производства забойной икры больше подходят крупные осетровые: сибирский осетр, русский осетр, их гибриды и др. Выращивание крупных осетровых на икру при постоянном содержании в УЗВ представляет собой затратный процесс, особенно с учетом необходимости создания больших комплексов для бесперебойного снабжения икрами самками.

Учитывая экспортную ценность забойной икры и затраты на выращивание, развитие производства такой икры необходимо осуществлять по следующим этапам.

Этап 1. Стартовое выращивание в УЗВ с целью ускорения полового созревания в течение 24 мес.

Этап 2. Выращивание в садковых хозяйствах (вариант А) и прудовых хозяйствах (вариант Б) в период активного нагула с целью сниже-

ния энергозатрат и синхронизации развития с естественным температурным режимом в течении 30 мес (вариант А) и 48 мес (вариант Б).

Этап 3. Получение икры. На данном этапе для получения икры необходимо помещение с бассейнами или лотками, работающими на замкнутом или прямоточном водоснабжении, выдерживание в которых осуществляется перед убоем. Продолжительность выдерживания зависит от стадии зрелости икры. Например, некоторые хозяйства выдерживают икражных самок до 6 мес. Также возможно создавать так называемые полевые цеха непосредственно около прудовых и садковых хозяйств. В качестве корпусов зданий возможно использовать легкие конструкции или теплицы, в которых размещаются емкости для выдерживания рыб. Выращивание самок для получения забойной икры в рамках второго из указанных выше этапов целесообразно осуществлять на действующих садковых линиях ГРЭС Беларуси, на площадях которых возможно производить суммарно до 10 т икры в год. Следует отметить, что для создания УЗВ возможно осуществить реконструкцию незадействованных очистных сооружений коммунальных предприятий (по примеру Дании [327]), а также задействовать площади вышедших из эксплуатации животноводческих комплексов. В условиях современной жесткой конкуренции в мировом икорном осетроводстве на первое место выходит качество икры и использование безопасных консервантов при ее переработке. Для успешного выхода на европейский и американский рынок забойной икры необходимо использовать накопленный опыт стран-соседей (России, Латвии), для этого целесообразно объединение в этом направлении на первых этапах производства, например с ГК «Русский икорный дом», а также завоевывать доверие потребителей путем получения международных сертификатов и допуска контролирующих органов. При организации икорного осетроводства, особенно при ориентировании на экспорт, необходимо учитывать требования СИТЕС (Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения), согласно которой продажа дорогостоящей и деликатесной продукции осетровых осуществляется только из аквакультурных хозяйств. С этой целью необходимо организовывать генетическую паспортизацию маточных стад. Развитие данного направления целесообразнее осуществлять под контролем Института генетики и цитологии НАН Беларуси.

Мясное осетроводство. Опыт работы белорусских осетровых предприятий показывает, что выращивание осетровых в УЗВ является

низкорентабельным направлением. Некоторые предприятия выращивают мясо осетровых в убыток, однако продолжают это производство из-за статусности продукта. По этой причине выращивание осетровых на мясо является более целесообразным в прудовых хозяйствах с более низким энергопотреблением. Перспективный объект мясного осетроводства в прудах также веслонос, основной пищей которого является зоопланктон и сестон, формирующие естественную кормовую базу пруда. Данный объект способен показывать очень высокий темп роста в условиях естественного температурного фона. Для развития мясного осетроводства необходимо внедрять в рыбоводные организации новые для Беларуси объекты товарного выращивания: амурский осетр, адриатический осетр, белый осетр, калуга, высокопродуктивные гибриды, которые обладают более высокими темпами роста по сравнению с традиционно используемыми объектами: стерлядью, русским и ленским осетром. Мясное осетроводство Беларуси нуждается в выработке единых стандартов к товарной навеске, качеству мяса и в развитии переработки, которое целесообразнее осуществлять под контролем Института рыбного хозяйства НАН Беларуси. Использование УЗВ для мясного осетроводства перспективно на период подращивания рыбопосадочного материала.

Искусственное воспроизводство. Основной целью искусственного воспроизводства является получение посадочного материала для всех направлений осетроводства. Основные технологические решения выращивания самок для целей искусственного воспроизводства схожи с технологией производства овулированной икры. Проведенные исследования показали [217], что в условиях индустриального производства наблюдаются нарушения в воспроизводительной функции самцов. В связи с этим перспективным направлением в искусственном воспроизводстве (при работе с самцами) являются разработка технологии специализированного кормления самцов; разработка новых активизирующих сред для оплодотворения; разработка разбавляющих сред; разработка консервирующих сред; освоение и совершенствование технологии криоконсервации; разработка способов оценки репродуктивной функции с использованием современных методов диагностики (компьютерных, биохимических, гормональных и т. д.); разработка методов стимулирования репродуктивной функции.

Искусственное воспроизводство рыбопосадочного материала необходимо осуществлять на базах икорных предприятий, сохраняя для этих целей небольшое количество самцов. Ключевыми технологиче-

скими решениями в выращивании рыбопосадочного материала для мясного осетроводства являются следующие:

1. Инкубация, которую необходимо осуществлять в исправных инкубационных аппаратах с учетом современных знаний по импринтингу химических сигналов водной среды, а также с использованием различных методов воздействия, оказывающих стимулирующее и благоприятное воздействие на эмбриональное и постэмбриональное развитие рыб, например, лазерно-оптические приборы «Стронга» и Sturgeon, разработанные в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии [16, 215].

2. Кормление молоди только высококачественными и высокобелковыми кормами для придания развивающемуся организму хорошего старта в темпе роста и выживаемости.

3. Условия водной среды при инкубации должны быть выше известных нормативных значений, при этом не допускаются средние и высокие концентрации азотистых соединений продуктов метаболизма. Необходимо также обеспечивать чистоту лотков и бассейнов для снижения уровня бактериальной обсемененности.

Восстановление природных популяций. Самой важной отличительной особенностью данного направления является то, что рыба, предназначенная для зарыбления естественных условий, должна как можно меньше контактировать с индустриальными условиями выращивания. Аквакультура для производства товарной продукции и аквакультура для восстановления природных популяций – это два разных направления, использующие различные подходы и методы для решения специфических задач. Если товарная аквакультура ориентирована на наибольшую выживаемость, высокую конверсию корма, высокий уровень роста, сопротивляемость заболеваниям, рентабельность производства и высокое качество продукции, то искусственное воспроизводство для выпуска молоди в водоемы нацелено для получения потомства, способного быстро реагировать на изменения в окружающей среде, адаптировать свое поведение, различать/избегать хищников, быть достаточно гибким к изменениям параметров среды (таким, как температурная стратификация, недостаток кислорода, мутность, воздействие ветра и волн), сопротивляться патогенной микрофлоре и эффективно взаимодействовать с конспецифическими организмами. Таким образом, целью выращивания молоди для выпуска в естественные условия должна быть подготовка ее к суровым диким условиям [355]. Страны, осуществляющие восстановление природных популя-

ций осетровых рыб, должны придерживаться Рамсарской декларации, которая регулирует следующие положения: оценка запасов и регулирование промысла осетровых; среда обитания осетровых – ее оценка и восстановление; формирование и совершенствование родительского стада, сохранение генетической целостности родительского стада; стратегия повторного зарыбления и сопутствующие меры; загрязнение среды и меры по смягчению положения. Для восстановления каждого конкретного вида в каждой стране разрабатывается подробный план действия (Action Plan), в котором подробно прописываются мероприятия по восстановлению природных популяций осетровых рыб, календарные сроки, ответственные организации, источники финансирования, параметры, определяющие эффективность проведенных мероприятий, и другие моменты с учетом местных, законодательных, географических и климатических особенностей.

При формировании маточных стад для производства посадочного материала, предназначенного для восстановления природных популяций, необходимо соблюдать следующие ключевые моменты: увеличение генетического разнообразия путем обмена особями с другими стадами; использование максимально гетерогенных особей при формировании стада; необходимость четкого представления о составе маточного стада (чистота, происхождение, родственные отношения между особями); выравнивание размера семей (потомков разных пар производителей); поддержание высокой генетической изменчивости путем обмена особями (гаметами) с другими стадами; разделение стада на группы и выращивание порознь; использование старых производителей для снижения числа генераций; выравнивание вклада производителей (или семейных групп) в последующие генерации; избегание близкородственного скрещивания, увеличение генетического разнообразия [242].

Рыбопосадочный материал, предназначенный для выпуска в естественные условия, должен оцениваться по фитнес-показателям, основанным на выявлении работы четырех основных механизмов: а) сенсорные способности и непрерывная нервная сигнализация, б) познавательная способность выявлять существующие угрозы, в) механизмы реагирования, позволяющие эффективно избегать угрозы, г) физические возможности проявления реакции в степени, необходимой для отпора хищнику [352]. Для этого необходимо разработать единую методику оценки фитнес-показателей рыбопосадочного материала. Важным моментом для выпускаемой молодежи является ее способность воз-

вращаться к местам выпуска при достижении половой зрелости для естественного размножения (хоуминг). Для этого предлагается организовывать полевые передвижные цеха в местах выпуска, в которых будет осуществляться выдерживание молоди на воде естественного водоисточника. Такие цеха возможно создавать на базе шасси грузового автотранспорта. Для технологии подготовки рыбопосадочного материала перед выпуском в естественную среду перспективным является создание специальных прудов, в которых моделируются основные элементы дикой природы, что позволит осуществлять подготовительную тренировку молоди перед выпуском [189].

Важным моментом в технологии восстановления природных популяций является использование современных и разработка новых методов мечения рыб, в том числе с использованием новейших методов телеметрии.

Для Беларуси в рамках восстановления природных популяций осетровых рыб перспективно развитие следующих программ.

1. Программа восстановления природной популяции днепровской стерляди в р. Днепр и его притоках – Березине, Соже и Припяти. Реализация данной программы возможна при покупке оплодотворенной икры стерляди нативной днепровской популяции (например, в Донском или Нижнеднепровском осетровых заводах) с подращиванием, подготовкой и выпуском молоди в реки Беларуси при одновременном создании собственного маточного стада стерляди днепровской популяции в рыбоводных организациях.

2. Программа реакклиматизации и восстановления стерляди в трансграничных водных бассейнах Беларуси и Литвы (инициатива Института рыбного хозяйства НАН Беларуси и Института генетики и цитологии НАН Беларуси). Реализация данной программы возможна при создании соответствующих специализированных технологических условий выращивания рыбопосадочного материала для естественных водоемов.

3. Участие в Программе восстановления природной популяции балтийского осетра путем выпуска его в р. Вилия. Реализация данной программы возможна при покупке оплодотворенной икры европейского балтийского осетра (например, в Германском институте водной экологии и рыбоводства во внутренних водоемах) с подращиванием, подготовкой и выпуском молоди на территории Беларуси при одновременном создании маточного стада в рыбоводных организациях [12].

Программы восстановления диких популяций осетровых рыб – это масштабные мероприятия, эффективная реализация которых возможна при максимальном взаимодействии основных заинтересованных участников специализированных организаций и общественного понимания важности осуществляемой работы. Технологическую часть таких программ предлагается реализовывать Институту рыбного хозяйства НАН Беларуси, Белорусской государственной сельскохозяйственной академии на базах действующих рыбохозяйственных организаций. Генетический контроль предлагается реализовывать Институту генетики и цитологии НАН Беларуси при возможной помощи Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Мониторинг и определение эффективности проводимых мероприятий предлагается реализовывать Научно-практическому центру НАН Беларуси по биоресурсам и Белорусскому государственному университету. Государственный контроль и управление предлагается осуществлять Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды и Министерству сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

Таким образом, на основании современных мировых знаний и достижений белорусских ученых разработана единая стратегия развития осетроводства в Республике Беларусь, включающая описание основных узкопрофильных технологических особенностей по таким направлениям, как икорное осетроводство, мясное осетроводство, искусственное воспроизводство и восстановление природных популяций. Реализация данной стратегии позволит повысить эффективность белорусского осетроводства, а также будет способствовать увеличению экспорта осетровой продукции и восстановлению природных популяций этих реликтовых рыб.

2.3. Рыбоводный индустриальный комплекс на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства – перспективное направление в развитии аквакультуры ценных видов рыб

Рыбоводный индустриальный комплекс УО БГСХА осуществляет выращивание радужной форели с использованием технологии УЗВ с потреблением менее 10 % свежей воды в сутки.

Эффективность применения УЗВ в рамках традиционного рыбоводства обеспечивается за счет следующих преимуществ:

а) возможности создания условий выращивания, в которых обеспечивается максимальный рост и темп накопления продукции практически любых видов;

б) обеспечение полного контроля и управления производственным процессом независимо от внешних условий при сохранении ихтиопатологической и экологической чистоты производства за счет выращивания рыбы в одном и том же объеме воды с применением системы полной очистки и регенерации качества воды до исходного уровня.

Выращивание рыбы в рециркуляционных системах происходит при многократном использовании одного и того же объема воды, подвергаемого очистке и вновь возвращаемого в рыбоводные емкости. В таком виде система обеспечивает надежный контроль за процессами выращивания и позволяет осуществлять соответствующие мероприятия по оптимизации водной среды.

В рамках Государственной программы развития рыбохозяйственной деятельности на 2011–2015 г., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь 7 октября 2010 г. № 1453 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 17 февраля 2012 г. № 159)) предусмотрено производство товарной рыбы в республике в 2015 г. до 25,2 тыс. т, в том числе прудовой рыбы – 19,7 тыс. т, озерно-речной рыбы – 1,7 тыс. т, ценных видов рыб до 3,8 тыс. т. Для достижения названных объемов производства планируется создание 16 специализированных индустриальных комплексов для выращивания товарной продукции лососевых, сомовых и осетровых видов рыб, 2 специализированных рыбопитомников-репродукторов для производства рыбопосадочного материала лососевых, сиговых и других видов рыб.

В рамках указанной Государственной программы развития рыбохозяйственной деятельности, а также в рамках Государственной инвестиционной программы на 2012 год, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 17 февраля 2012 г. № 75, осуществлено строительство рыбоводного индустриального комплекса по выращиванию рыбопосадочного материала лососевых видов рыб с использованием системы замкнутого водоснабжения (УЗВ) на базе УО БГСХА г. Горки Могилевской области. Рыбоводный индустриальный комплекс (рис. 2.2) располагается на территории учебного полигона УО БГСХА и составляет единый комплекс с кафедрой ихтиологии и рыбоводства (рис. 2.3), которая осуществляет подготовку специалистов для рыбохо-

зяйственной отрасли по специальности «Промышленное рыбоводство».

Технико-технологическая характеристика. Рыбоводный индустриальный комплекс рассчитан на производство 3 000 000 шт. молоди радужной форели средней навеской 50 г в год. Площадь основного производственного здания составляет 2 880 м². В состав рыбоводного индустриального комплекса входят 4 модуля: модуль инкубации, модуль подращивания личинки до 5 г, модуль № 1 выращивания молоди до 50 г, модуль № 2 выращивания молоди до 50 г.



Рис. 2.2. Фасад рыбоводного индустриального комплекса



Рис. 2.3. Корпус кафедры ихтиологии и рыбоводства

Каждый модуль имеет независимую секцию водоподготовки, которая состоит из следующих элементов:

- механический барабанный фильтр;
- аэрирующий биологический фильтр «плавучая подушка»;
- капельный биологический фильтр;
- кислородный реактор;
- ультрафиолетовый излучатель;
- насосы.

В каждом модуле вода, поступающая из бассейнов (лотков) с рыбой, попадает на первую фазу обработки в секцию очистки воды – самоочищающийся механический фильтр. Здесь вода проходит через тонкую сеть, микроэкрэн и попадает в отстойник фильтра. Осадок (в основном фекалии рыб) постепенно удаляется. Процесс полностью автоматизирован. Вода из механического фильтра попадает в колодец с фильтрующим материалом – фильтр «плавучая подушка». Вода в этом приемке постоянно аэрируется, поэтому происходит движение биологического фильтрующего материала. Глубина фильтровального колодца составляет примерно 2,4 м. Фильтрующий материал состоит из небольших пластиковых колец с открытой структурой с большой удельной площадью поверхности – $800 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Чтобы избежать скапливания биопленки, которая может становиться причиной закупоривания отверстий, фильтр постоянно находится в движении. Фильтр обладает способностью самоочищаться, если уровень аэрации и прохождения воды сквозь него довольно высок. Размер фильтра и объем потока воды связаны с количеством потребляемого корма и лежат в основе производственной мощности системы. Над фильтром располагаются вентиляторы на кровле для вытягивания воздуха наружу. Таким образом, происходит газообмен. Углекислый газ легко удаляется из воды, и увеличивается концентрация кислорода, что создает благоприятную среду для нитрифицирующих бактерий. Эти бактерии преобразуют высокотоксичный аммиак, основной продукт отходов, в конечный продукт переработки – нитрат. Процесс происходит в две стадии: окисление аммиака бактериями *Nitrosomonas* sp. После прохождения секции обработки воды она закачивается в бассейны с рыбой через пластиковые трубы. По пути к бассейнам с рыбой вода проходит через реактор – сосуд высокого давления, где она насыщается кислородом. Ежедневная норма потребления кислорода составляет приблизительно 700 г на 1 кг корма. Часть воды, направляемой к капельному фильтру, течет через зону облучения ультрафиолетом. Под воздействием элек-

тромагнитного излучения поддерживается низкий уровень содержания бактерий в воде, а также погибают паразиты и другие болезнетворные организмы.

Модуль инкубации. В данном модуле (рис. 2.4) будет осуществляться доинкубация оплодотворенной икры (эмбрионов) на стадии глазка, которая будет завозиться из других специализированных рыбопитомников. Далее будет осуществляться выдерживание свободных эмбрионов и переход личинок на питание искусственными кормами и их выращивание до средней навески 0,35 г. В состав модуля инкубации входят 54 инкубационных аппарата лоткового типа по 0,34 м³. Продолжительность работы данного модуля за один цикл составит 30 дней. Площадь поверхности воды инкубационных лотков составляет 124 м². Ожидаемый максимальный суточный объем кормов в системе в модуле инкубации – 14 кг. Плотность посадки в модуле инкубации – до 3 кг/м³. Температура воды в модуле инкубации от 4 до 18 °С.



Рис. 2.4. Модуль инкубации

Модуль подращивания личинки до 5 г. В данном модуле (рис. 2.5) будет осуществляться подращивание личинки до средней навески 5 г. В состав модуля подращивания входит 8 бассейнов по

18,8 м³. Продолжительность работы данного модуля за один цикл составит 50 дней. Площадь поверхности воды рыбных бассейнов в модуле подращивания составляет 150 м². Ожидаемый максимальный суточный объем кормов – 94 кг. Максимальная плотность посадки – до 30 кг/м³. Температура воды – от 14 до 18 °С.



Рис. 2.5. Модуль подращивания личинки по 5 г

Модули (№ 1 и № 2) выращивания молоди до 50 г. В данных модулях (рис. 2.6) будет осуществляться выращивание молоди до средней навески 50 г. В состав каждого модуля выращивания входит 20 бассейнов по 18,8 м³. Продолжительность работы двух модулей за один цикл составит 120 дней. Площадь поверхности воды рыбных бассейнов в модуле подращивания составляет 752 м². Ожидаемый максимальный суточный объем кормов в двух модулях – 500 кг. Максимальная плотность посадки – до 60 кг/м³. Температура воды – от 14 до 18 °С.



Рис. 2.6. Монтаж модуля выращивания молоди до 50 г

Подготовка кадров и научно-исследовательская работа. Рыбоводный промышленный комплекс УО БГСХА будет являться базой для практической подготовки специалистов по специальностям «Промышленное рыбоводство», «Зоотехния», «Мелиорация и водное хозяйство». На базе комплекса будет осуществляться подготовка научных кадров высшей квалификации по специальностям «Рыбное хозяйство и аквакультура», «Биологические ресурсы», «Ихтиология», «Гидробиология».

На базе рыбоводного промышленного комплекса будут проводиться фундаментальные и прикладные научные исследования в рамках грантов Белорусского фонда фундаментальных исследований, Государственного комитета по науке и технологии, Европейского союза, а также международные научно-практические конференции, конгрессы и семинары по вопросам развития современной аквакультуры.

В состав работников рыбоводного промышленного комплекса и прилегающей к нему кафедры ихтиологии и рыбоводства входят молодые ученые – лауреаты специальной премии Могилевского облас-

полкома; лауреаты стипендии Президента Республики Беларусь аспирантам, талантливым молодым ученым; лауреаты премии Национальной академии наук Беларуси; лауреаты конкурса ВАК Республики Беларусь «Лучшая кандидатская диссертация года».

На базе рыбоводного индустриального комплекса будет осуществляться проведение курсов повышения квалификации и переподготовки специалистов рыбохозяйственной отрасли; проведение совместных международных научных исследований; а также возможна практическая подготовка специалистов из других вузов по специальностям биологического и ветеринарного профилей.

Соответствие международной практике и стандартам. Выбранная технология в соответствии с заключением РУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр по животноводству Национальной академии наук Беларуси» полностью соответствует международным стандартам и практике современной аквакультуры. Технологическое обоснование было разработано компанией Fimmelma Engineering (г. Хельсинки, Финляндия) совместно с компанией Hesy (Голландия), которые приняли участие в проектировании более 30-ти аналогичных рыбоводных комплексов в Европе, Азии и Южной Америке.

Монтаж и запуск технологического оборудования, а также сопровождение работы комплекса в стартовый период обеспечивает ОАО «ГИПРОРЫБХОЗ» (г. Москва, Российская Федерация), которая приняла участие в проектировании более 10 аналогичных рыбоводных комплексов в странах СНГ.

Аналогичные рыбоводные индустриальные комплексы по выращиванию ценных видов рыб и основанные на принципах УЗВ получили широкое распространение в Южной Корее (например, Woo Chang Corporation, Сеул), Финляндии (Savo-Lax, Рауталампи), России («Крок», Калужская область), Литве (UAB Auksinis), Италии (Agroittica Lombardo, Калвисано), Чили (La Aгаucana, Калвисано), Израиле (кибуц Ein Hamifratz) и др.

2.4. Восстановление популяции европейского осетра и перспективы его вселения в реки Беларуси

Acipenseridae – семейство рыб из отряда *Acipenseriformis*. Рыбы, входящие в это семейство – немногочисленные остатки очень древних форм с архаичными чертами строения тела, известные еще с нижнеюр-

ского периода. Из проходных осетровых в пределах Беларуси ранее единичными экземплярами заходили *Huso huso* и *Acipenser gurldenstaedti*, поднимающиеся по Днепру до Могилева и выше, но уже с начала 30-х гг. XX ст. в связи со строительством Днепровской ГЭС заходы их полностью прекратились [52]. Единственным видом осетровых, встречающимся в реках Беларуси, является *A. ruthenus*. В настоящее время ее единичные особи встречаются в р. Днепр и Березина, а также в Западной Двине, где она была акклиматизирована. Стерлядь включена в Красную книгу Беларуси как вид, находящийся под угрозой исчезновения. В связи с этим в настоящее время ведутся работы по восстановлению популяции стерляди в Днепре и в других реках Беларуси [102].

Вместе с тем до середины 50-х гг. XX ст. на территории Беларуси отдельными экземплярами вылавливался балтийский осетр (*A. sturio*), который заходил в Неман [53] и низовья Западной Двины [52]. Поэтому для Беларуси возможность восстановления популяции этого вида является весьма актуальной.

Исторически область распространения балтийского, или атлантического, или европейского осетра (*A. sturio*) располагалась от Балтийского и Северного морей, через Средиземное море, до Черного моря [351] (рис. 2.7). В настоящее время этот вид включен в Красную книгу России, Франции, Испании, Польши, Германии и в целом в Европе считается под угрозой полного исчезновения [293]. Так, в частности, в Германии, в 1983 г. атлантический осетр рассматривался в качестве вымершего вида [226]. Тем временем единственная немногочисленная природная популяция в настоящее время обитает в дельте рек Гаронны и Жиронды (Франция) [353]. Но популяция этого вида на указанной территории не обладает достаточным количеством взрослых половозрелых особей. Более того, кроме антропогенной опасности, над этой популяцией возникла угроза вытеснения другим, более живучим и пластичным видом, таким, как сибирский осетр *A. baeri*, что явилось результатом бесконтрольного попадания этого вида в водоемы Франции [290].

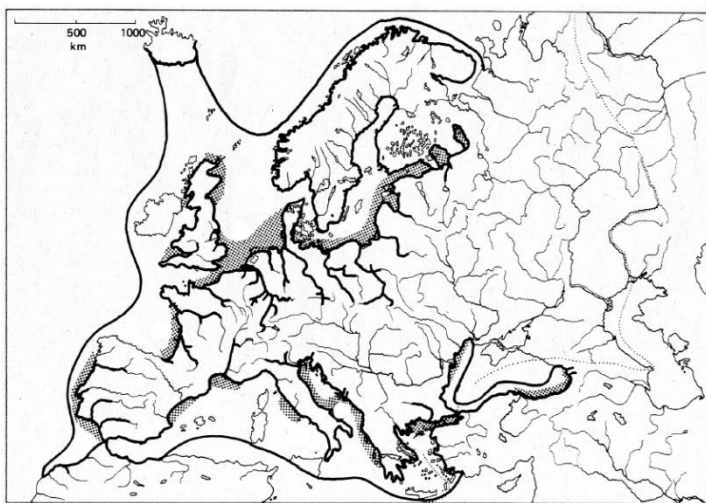


Рис. 2.7. Исторически-географическая область распространения европейского осетра (*A. sturio*)

До середины XIX ст. *A. sturio* являлся преобладающим видом во всех реках Германии и имел для рыболовства важное значение [351]. Однако в начале XX века произошло снижение численности этого вида как в Северном, так и в Балтийском морях и их притоках (рис. 2.8 и рис. 2.9). Уже после 1894 г. наблюдается сильный спад в уловах европейского атлантического осетра в Эльбе. С 1920 г. этот вид потерял свое экономическое значение [244]. Последний естественный массовый нерест в Эльбе происходил в 1934–1935 гг. [311]. Европейского осетра в последний раз вылавливали в Эльбе 13 августа 1969 г. (длина 2,60 м). Отдельные половозрелые особи в Балтийском и Северном морях вылавливались вплоть до 90-х гг. XX ст. Одной из самых значимых была поимка в Северном море (октябрь 1993 г.) половозрелой особи длиной 2,85 см и массой 142,5 кг [379].

На снижение численности европейского атлантического осетра повлиял целый комплекс факторов, которые оказывали различное влияние, но при этом все они были антропогенного происхождения. Также такие специальные видовые характерные черты *Acipenseriformes*, как величина, поведение, привычки, место распространения и цикл жизни, делали и делают их крайне восприимчивыми для антропогенного влияния [414]. Но главной причиной столь драматического результата

считается чрезмерный вылов осетров. Следующей причиной вымирания является глубокое изменение морфологии рек, т. е. зарастание, застройка рек плотинами и дамбами привело к осушению многих мест для нерестилищ. Начало индустриализации в 1900 г. загрязняло воды и вело к повышенному накоплению вредных веществ [244].

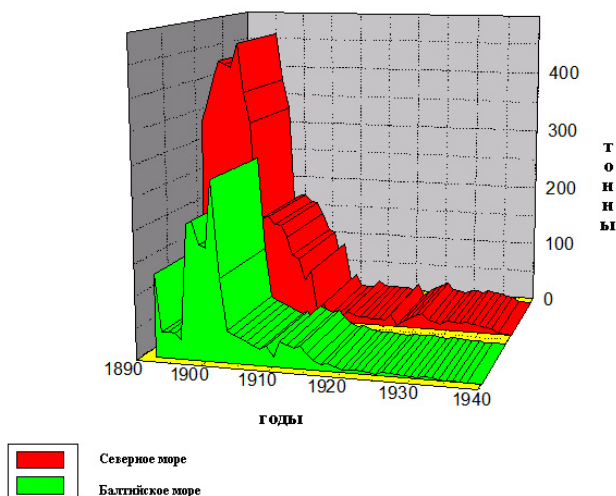


Рис. 2.8. Показатели улова европейского осетра в Северном и Балтийском морях

Мероприятия по сохранению этого вида проводились уже достаточно давно. Так, в 1890 г. во Франции впервые было законодательно установлена минимальная величина ловли *A. sturio* и составляла 14 см как минимальная величина для всех мигрирующих видов рыб. В 1939 г. был установлен временный запрет на вылов *A. sturio*. А в 1982 г. вылов *A. sturio* был полностью запрещен [353]. В Германии мероприятия по сохранению этого вида осуществлялись еще в 16 в. Так, например, местным законодательством Гамбурга в 1594 г. было запрещено использование сетей с мелкой ячейкой [244]. В 1877 г. сделаны первые попытки искусственного разведения осетров на реке Эльбе. Для этого устанавливались различные инкубаторы. Успешное искусственное оплодотворение удавалось в 1882 и 1886 гг., а также в 1888 и 1891 гг. на Эльбе [311]. Однако дальнейшее инкубирование заканчивалось гибелью эмбрионов. Даже научные исследования в области осетроводства, а также последующие официальные мероприятия, такие как обу-

чение рыбаков и введение премий за передачу производителей, не привели к результату [311].

Улучшение качества водных ресурсов в конце XX века и увеличенный интерес к экологии и восстановлению больших водных систем пробуждали интерес к популяции атлантического осетра в Германии. 1993 г. символизирует начало первого этапа в восстановлении популяции этого вида в водах северной Германии, а также в Балтийском и Северных морях. В 1996 г. на территорию Германии прибыла первая партия молоди *A. sturio* с целью созданию из них ремонтно-маточного стада, основная часть которых располагалась в Институте водной экологии и внутреннего рыбоводства (Берлин). В рамках этой программы были проведены исследования, в которой были сделаны поразительные открытия. Так, в работе [414] было установлено, что балтийский осетр, остатки популяции которого в настоящее время обитают на территории Германии, Франции и в водах Балтийского и Северных морей, не принадлежит к виду *A. sturio*, а к *A. oxyrinchus*, который ранее вытеснил *A. sturio* из перечисленных водных территорий.

A. oxyrinchus – американский атлантический осетр. Исторические места распространения располагаются вдоль восточного побережья Северной Америки, от южного Лабрадора к северной Флориде (*A. oxyrinchus oxyrinchus*) [407], а также вдоль Мексиканского залива к устью реки Миссисипи (*A. oxyrinchus. desotoi*) [370]. Достигает максимальной длины 4 м и массы 350 кг [407].

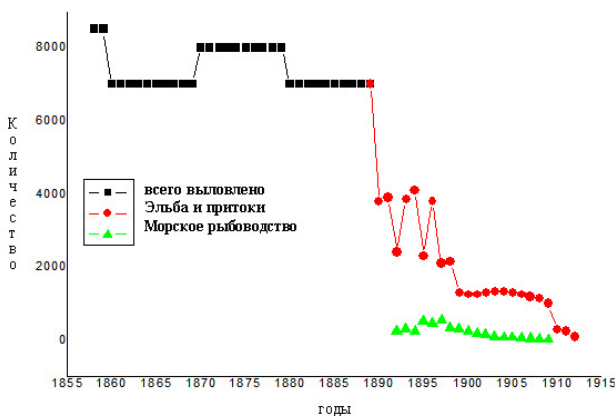


Рис. 2.9. Показатели улова европейского осетра в р. Эльба и ее притоках в течение 1858–1912 гг.

Однако дальнейшие исследования в этой области показали [214], что *A. oxyrinchus* не заменил, а скрестился с *A. sturio*, что привело к появлению гибридных форм (более 70 % от всей популяции европейского осетра на территории Балтийского и Северного морей). Единственной чистой линией (*A. sturio*) остается небольшая популяция в дельте реки Жиронда (Франция). Такое смешивание видов произошло в результате небольшого ледникового периода (приблизительно 800 лет назад). Водная температура, по-видимому, стала ниже 20 °С, что привело к неспособности самок *A. sturio* откладывать икру. Это дало возможность мигрирующим самкам *A. oxyrinchus*, которые, как известно, способны метать икру даже при температуре 13,3 °С, скреститься с самцами *A. sturio* [414]. Вместе с тем информации о температурных предпочтениях самцов *A. sturio* не имеется. Вероятно, эти обстоятельства и привели к возникновению гибридных форм [214].

Эти открытия повлекли за собой некоторую корректировку программы восстановления балтийского осетра. Так, работы по восстановлению этого вида на территории Германии и прилегающих морях базируются на транспортировке молоди *A. sturio* из Франции в Берлин, где осуществляется дальнейшее их подращивание до половозрелого состояния в прудовых условиях. Кроме того, по данной схеме с 2005 г. осуществляется ежегодная транспортировка молоди *A. oxyrinchus* из Канады. Кроме исследований по воспроизводству, проводятся исследования по оптимизации кормления молоди осетровых рыб, так как молодь атлантического осетра, в особенности *A. sturio*, показывает исключительно высокую избирательность в питании, особенно в условиях бассейнового выращивания, что ведет к крайне высокой гибели (98–99 %) в первые месяцы жизни.

Следует отметить, что в 1994 г. в институте Зэнкенбэрг (Франкфурт-на-Майне) было создано «Общество спасения осетров». Целью этого общества являлась организация глобальных работ по восстановлению осетрового видового богатства. Весь проект по восстановлению атлантического осетра состоит из 3 фаз [291].

Фаза 1: Проектная подготовка.

- Информация в союзы, научное учреждение и установление контактов с иностранными учреждениями, которые работают над этой проблематикой;
- сотрудничество с органами власти, университетами, институтами и рыболовными союзами;

- обработка прежних опытов при расширении и акклиматизации осетров;
- приобретение оплодотворенной икры, мальков или готовых половозрелых особей со всей Европы.

Фаза 2: Основная.

- исследования, направленные на изучение различных мест водоемов, пригодных для вселения;
- выбор подходящих систем водоема на основе экологических исследований;
- пробное зарыбление в выбранных устьях рек и областях побережья;
- исследования в области акклиматизации, выращивания рыбопосадочного материала, кормления и разведения;
- сооружение нерестилищ в естественных водоемах.

Фаза 3: Дополнительная.

- Проведение мечения всей молоди и производителей, выпускаемых в естественные условия, а также создание системы контроля и мониторинга за всеми перемещениями популяции;
- разработка правил для профессиональных рыбаков и спортсменов-любителей в случае вылова осетров из естественных водоемов;
- привлечение инвестиций для финансирования реализации программы.

Как видно, в Германии осуществляется работа по восстановлению этой реликтовой культуры. К данной программе привлекаются специалисты из различных институтов Германии, Австрии, Франции, Швейцарии, Польши, Канады. В рамках этой программы выполняются различные дипломные, магистерские, кандидатские и докторские работы. При этом исследования выполняются не только в области нормирования кормления и условий содержания, но ведутся и в области фундаментального изучения особенностей и закономерностей полового созревания рыб. Следует отметить, что такая схема мониторинга и научного международного сотрудничества может быть полезна и для программы по восстановлению популяции стерляди на территории Беларуси.

В связи с тем что балтийский осетр ранее заходил в реки на территории Беларуси, вопрос о перспективах осуществления программы восстановления популяции этого вида в нашей стране является весьма актуальным.

2.5. Перспективные направления зарубежных научных исследований в области аквакультуры ценных видов рыб

Автор данной работы в ходе подготовки к написанию монографии посетил ряд международных научных конференций в России, Украине, Литве, Чехии, Канаде, тематика которых связана с аквакультурой ценных видов рыб. Ниже приводятся основные направления исследований зарубежных ученых.

Третий Международный научно-практический семинар «Рыбоводство и рыборазведение с применением технологий УЗВ» (Украина). Донецкая компания ООО «Укрakwaиндустрия» проводит семинары, посвященные теме аквакультуры в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). В рамках семинаров проходят встречи со специалистами в рыбной отрасли, а также представителями фирм-производителей оборудования и кормов. В ходе семинаров обсуждаются проблемы эксплуатации рыбных предприятий, существующие трудности в выращивании и сбыте рыб ценных пород, плюсы и минусы различных систем УЗВ, проекты рыбоводных хозяйств и характеристики специализированных кормов.

Программа 3-го семинара была насыщена докладами, посвященными актуальным проблемам современной аквакультуры, в особенности аквакультуры осетровых рыб. Так, заведующий отделом аквакультуры АзЮгНИРО Петр Кулик в докладе «О прижизненном определении пола осетровых рыб современными способами» отметил, что определение пола в настоящее время имеет большое значение в практике аквакультуры осетровых. Большинство известных методик раннего прижизненного определения пола основываются на дистанционном анализе, однако при этом каждая методика сопряжена с определенными трудностями. Например, проведение оперативного анализа морфологической структуры гонад возможно только тогда, когда гонады рыбы достигли стадии визуальной дифференциации. В индустриальных хозяйствах такая возможность наступает, когда осетры достигли возраста 1,5–2 года. Определение содержания гормонов в крови носит более вероятностный характер, и проявляется не индивидуально, а на большом объеме выборки. Докладчиком назывались также другие методики: биометрические, эндоскопические, определения пола по форме генитального отверстия. Наибольшее распространение в современной практике аквакультуры получила методика определения пола при помощи УЗИ. Однако вероятность этого определения весьма пробле-

матична, это связано не только с поздней половой дифференцировкой гонад, но и с условиями содержания рыб (например, питание), уровнем профессиональной подготовки специалистов-операторов. Однако, по мнению докладчика, несмотря на эти трудности, УЗИ-методике следует отдать приоритетное место, обеспечить массовое внедрение в технологию аквакультуры, обучение специалистов-операторов и дальнейшее совершенствование этой технологии.

В следующем докладе на тему «Биологические предпосылки сохранения ресурсов и энергии в индустриальной аквакультуре» Петр Кулик обратил внимание, что основные принципы функционирования систем УЗВ – это оптимальный температурный режим и возможность контролирования оптимальных параметров среды на протяжении всего цикла выращивания, а также полная защищенность объектов выращивания от неблагоприятных погодных условий. При этом задача рыбоводов, работающих в таких системах, – найти технологии, при помощи которых можно сбалансировать работу системы и минимизировать затраты энергии. Докладчик отметил, что в последние годы появилась масса работ, в которых отмечается положительное влияние колебаний экологических факторов, в первую очередь это температура, pH, освещенность, соленость. При этом наблюдаются более положительные результаты, чем при постоянных условиях среды. Поэтому очень важно создать наиболее оптимальную технологию выращивания биообъектов в УЗВ на основе динамического и астатического режимов. В результате применения этих технологий возможно создать условия, при которых будет наблюдаться максимальная экономия энергоресурсов на фоне высокого темпа роста. Однако при этом необходимо учитывать особенности выращиваемых видов, их возраст и период развития.

Наибольший интерес вызвал доклад одного из самых авторитетных специалистов в области воспроизводства осетровых рыб, директора частного института стерляди Сергея Подушки, на тему «Прижизненное получение икры осетровых рыб». Докладчик отметил, что падение уловов осетровых во второй половине XIX века стимулировало начало работ по их искусственному воспроизводству. Первой трудностью, с которой столкнулись исследователи, было то, что у отловленных самок в условиях неволи не происходило завершение созревания половых продуктов. Зрелых производителей, пригодных для искусственного воспроизводства, можно было добыть лишь на естественных нерестилищах в сезон размножения. Разработка к началу 1960-х гг. методов гормональной стимуляции созревания разрешила проблему обес-

печения заводов производителями. Однако эта новая схема осетрового хозяйства не предусматривала сохранения производителей живыми после получения икры и спермы. В результате искусственное воспроизводство оказалось полностью зависимым от вылова производителей из природных водоемов. К середине 1980-х гг. стало ясно, что дальнейшее развитие заводского осетроводства немыслимо без формирования в искусственных условиях маточных стад различных видов осетровых. В связи с этим проблема сохранения жизни производителей осетровых после получения от них зрелых половых продуктов приобрела первостепенное значение. Над проблемой сохранения жизни самок осетровых после получения от них икры работали многие авторы. Известно несколько подходов к решению этой проблемы: многократное сцеживание и метод «кесарева сечения». Однако эти методы имели определенные проблемы, связанные с длительностью, трудоемкостью и непригодностью для крупномасштабного производства. Сергеем Подушкой в 1985–1986 гг. был разработан метод надрезания яйцевода, который в настоящее время является основным методом, используемым в современной практике воспроизводства осетровых. Надрезание яйцеводов представляет собой довольно простую операцию. После непродолжительного обучения ее легко проводит любой рыбовод. Наиболее отчетливо преимущества описываемого метода получения икры проявляются при работе с крупными производственными партиями рыб, включающими 10–30 одновременно инъецированных самок. Автором доклада была также разработана технология переработки овулировавшей икры осетровых в пищевой продукт. Используя эту технологию, некоторые предприятия России консервируют икру уже на протяжении нескольких лет.

Интерес участников семинара вызвал доклад заместителя директора по маркетингу ООО «Укрваиндустрия» Сергея Перевозчикова, в котором приводились данные о современном состоянии и тенденциях в мировой аквакультуре, а также говорилось о перспективах аквакультуры Украины.

Большое внимание на семинаре было уделено проектам современных УЗВ, а также оборудованию для аквакультуры. Компании, занимающиеся проектированием, строительством и поставкой оборудования для УЗВ, представили свои проекты: Fischtechnik (Германия), докладчик Райнер Шуберт (технический директор); EMF (Германия), докладчик Лутц Дебус (руководитель проектов по рыборазведению); Akvazivis (Латвия), докладчик Петр Зуев (главный технолог); Витатех-

ник (Львов, Украина), докладчик Дмитрий Веников (директор проекта).

7-й Международный симпозиум по осетровым рыбам (Канада).

Симпозиум проходил под эгидой Всемирного общества сохранения осетровых рыб (World Sturgeon Conservation Society, WSCS, www.wscs.info), членом которого является кафедра ихтиологии и рыбоводства УО БГСХА. Данное общество является ведущей международной организацией по координации мероприятий по восстановлению осетровых рыб на нашей планете. WSCS объединяет ученых из всего мира, во всех областях, касающихся изучения этих древних и редких видов рыб. Президентом WSCS является Харальд Розенталь – выдающийся немецкий ученый в области гидробиологии, ихтиологии и аквакультуры, академик Шведской королевской академии наук, главный редактор международного рейтингового журнала прикладной ихтиологии (Journal of Applied Ichthyology). Основателями общества являются 12 всемирно известных ученых в области ихтиологии и аквакультуры осетровых из Италии, США, Китая, России, Германии, Ирана, Польши, Франции. Международные симпозиумы по осетровым рыбам под эгидой WSCS проходят каждые 4–5 лет и являются крупным событием в области мировой аквакультуры. Первый симпозиум состоялся в 1989 г. во Франции. Второй и последующие симпозиумы прошли в России (1993 г.), в Италии (1997 г.), США (2001 г.), Иране (2006 г.) и Китае (2009 г.).

Работа симпозиума была разделена на следующие 7 основных направлений: общая биология и экология осетровых рыб; состояние и управление популяциями осетровых рыб; влияние человека на запасы осетровых рыб и методы снижения антропогенного воздействия на них; аквакультура осетровых рыб; технологии переработки и маркетинга икры; правила международной торговли осетровыми; осетровые как рыбы человеческого наследия. На секциях ученые представили свои устные доклады. Те, кто не вошел в состав устных докладчиков, представили свои разработки во время стендовых докладов.

Всего в работе симпозиума приняли участие ученые из 25 стран мира: Австралии, Австрии, Азербайджана, Беларуси, Бельгии, Венгрии, Германии, Голландии, Дании, Израиля, Ирана, Италии, Канады, Китая, Малайзии, Новой Зеландии, Польши, России, Румынии, Сербии, США, Турции, Украины, Франции, Чехии, Южной Кореи, Японии.

На пленарных выступлениях свои приветственные слова и доклады представили Ральф Нильсон, президент университета «Ванкувер Айленд»; Джон Руттан, мэр Нанаймо; Дон Тилапоу, директор международного центра исследований осетровых рыб, глава комитета данного симпозиума; Питер Рэдмейн, президент «Sea Fare Group»; Шон Атла, глава ассамблеи первых (аборигенных) наций Канады. Отдельного внимания заслуживало эмоциональное и завораживающее выступление Рика Хансена, 3-кратного паралимпийского чемпиона, всемирно известного активиста и мотиватора, вдохновившего своим мужеством тысячи людей по всему миру, по тем или иным причинам оказавшихся в инвалидных креслах.

В пленарных докладах также принял участие президент WSCS Харальд Розенталь, который отметил необходимость понимания того, что технология выращивания осетровых на мясо и технология выращивания молоди для зарыбления естественных условий имеют существенные различия, несоблюдение которых значительно снижает эффективность работ по восстановлению естественных аборигенных популяций во многих странах мира. Выращивание молоди осетровых рыб для естественных условий по традиционной технологии товарного выращивания недопустимо, потому что в таких условиях она круглосуточно получает корма, за ней не охотятся хищники и она не боится человека. Такая молодь совершенно не готова к суровым, жестким диким условиям и имеет очень низкие шансы на выживание. Эти проблемы, а также современные технологии выращивания осетровых для товарной аквакультуры и естественных условий отражены в фундаментальных трудах, подготовленных ведущими учеными-осетроводами совместно с WSCS и Департаментом рыбного хозяйства и аквакультуры, продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (FAO).

Руководство WSCS успешно занимается разработкой Action Plan, или так называемого плана действий по восстановлению аборигенных видов рыб совместно с представителями многих стран мира. В этой связи перспективным являлось бы сотрудничество Республики Беларусь с WSCS в области разработки плана восстановления стерляди в реках нашей республики.

На симпозиуме были представлены результаты исследований следующих видов осетровых: сибирский осетр, русский осетр, персидский осетр, амурский осетр, адриатический осетр, китайский осетр, озерный осетр, атлантический осетр, белый осетр, короткорылый осетр, шип, стерлядь, веслонос, лопатонос, белуга.

Ученые из Китая доложили об масштабных успехах осетроводства, особенно икорного, в своей стране. Ученые из США продемонстрировали свои достижения в области промышленного производства пищевой черной икры.

Интереса заслуживают следующие научные тематики, которые были представлены на симпозиуме: новые технологии переработки овулированной икры; методика создания триплоидов веслоноса; использования электронаркоза при работе с производителями; методика оценки яйцекладов осетровых в естественных условиях при помощи подводной съемки; особенности специализированного кормления для самок осетровых в условиях икорной аквакультуры; исследования обонятельной чувствительности осетровых различных возрастных групп; технология смещения сроков нереста за счет изменения светового режима; акустические исследования звуков осетровых в нерестовый период; результаты исследований дифференциации пола генетическими методами; методы управления полом осетровых; параметры выращивания икорно-маточных стад в условиях УЗВ; исследования по замене рыбной муки соевым белком; перспективы товарного выращивания гибридов между амурским и сибирскими осетрами; положительное влияние артемии, обогащенной пробиотиками, на рост молоди осетровых.

На симпозиуме широко освещались состояния популяций осетровых во многих странах; генетические исследования в области осетроводства; использование различных пробиотиков при кормлении рыб; фундаментальные исследования в области эмбриологии, а также в области изучения повышения подвижности сперматозоидов. Исследования установили, что из-за различия в строении челюсти личинок осетровых на начальных этапах развития необходимо разрабатывать разные подходы по переводу рыб на активное питание. Установлено, что в условиях высокой мутности на естественных участках рек личинки осетровых имеют больше шансов спастись от хищников. Доказано, что фолиевая кислота оказывала положительное влияние на рост фоликулов, а линолевая кислота снижала степень ожирения самок в условиях икорной аквакультуры. Также большое количество докладов было посвящено ихтиопатологии в области осетроводства. Так, было отмечено опасное влияние *Edwardsiella tarda* на рыбу. Была представлена современная технология оценки стадии зрелости производителей осетровых при помощи эндоскопии.

Развитие чешской аквакультуры и Международная конференция «Диверсификация во внутренних водоемах и в аквакультуре» (Чехия). Конференция проходила на базе факультета рыбоводства и охраны вод Южно-Чешского университета в Чешских-Будеевицах. Следует отметить, что названный университет приобрел известность и популярность и входит в первую 1000 лучших высших учебных заведений мира.

Южно-Чешский университет в Чешских-Будеевицах является государственной высшей школой университетского типа. Он был основан 28 сентября 1991 г. Первоначально университет состоял из двух факультетов – педагогического факультета (с 1948 г. филиал педагогического факультета Карлова университета, который затем стал независимым факультетом) и факультет бизнеса и экономики (с 1960 г. действовал в рамках Пражского университета сельского хозяйства). Наряду с ними в числе основателей-факультетов были три новых: биологический, теологический и социального здоровья. В 1996 г. был включен в структуру университета научно-исследовательский институт рыбоводства и гидробиологии, базирующийся в Воднянах, а в 2002 г. университет расширил Институт физической биологии в Новых Градэх. Год спустя как часть университета был создан исторический университет, который стал одним из основателей факультета философии, возникшего в 2006 г. Еще одной новой частью университета Южной Чехии стал экономический факультет, который был создан в 2007 г. Бывший биологический факультет в 2007 г. заменил факультет естественных наук, который расширился в области биологии и неживой природы (в том числе преподавания этих предметов в средних школах). С 2009 г. Южно-Чешский университет состоит из восьми факультетов и одного института: факультеты экономики, философии, педагогики, науки, теологии, социально-медицинский, рыбоводства и охраны водных ресурсов. Девятая часть университета – Институт физической биологии в Новых Градэх.

Южно-Чешский край, в котором располагается университет, отличается значительным культурным и природным потенциалом. Край расположен на границе с Австрией и Германией. Это второй в Чешской Республике край по величине территории, в то время как плотность населения в этом крае самая низкая. Административным центром данного региона является город Чешские-Будеевице. Южно-Чешский край насчитывает 623 населенных пункта, 53 из которых города. В рамках экономики основную роль здесь играет первичный сек-

тор – сельское хозяйство, лесоводство и рыбоводство. По уровню занятости населения в сельскохозяйственном секторе Южно-Чешский край поднялся на второе место в республике. Многолетней традицией этого региона является прославленное прудовое рыбоводство.

Рыбоводство в Чехии имеет богатую историю и давние традиции. Любимые виды трудовой деятельности в Чехии: пивоварение, виноделие, рыбоводство, стекольный промысел и др., – уже давно стали поводом для организации своеобразных праздников во славу труда и превращают обычные трудовые будни в познавательные акции для детей и молодежи.

Разведение рыбы имеет в Чехии давние традиции. Первые упоминания о прудах встречаются в исторических документах с XI в., уже тогда прудовое рыбоводство приносило очень хорошие доходы. Но своеобразный «рыболовный бум» страна пережила в XV и XVI вв., когда искусственные пруды заполнили всю Южную Чехию. Наверное, тогда же в чешском языке появилось слово *рыбник*, что в переводе на русский язык означает «пруд». Сегодня в Южной Чехии насчитывается около 5 тыс. прудов, площадь которых составляет приблизительно 20 тыс. га. В водоемах Чешской Республики обитают шестьдесят четыре вида пресноводной рыбы: карп, щука, сом, окунь, судак и др. В реках не редкость форель, угорь и хариус. Но любимцем рыбаков по праву считается карп – рыба, наиболее распространенная в чешских водоемах. В исторических регионах Чехии (Богемии, Моравии и Силезии) жареный карп традиционно является украшением рождественского стола.

Ежегодный вылов рыбы в чешских прудах по праву можно назвать наиболее яркой и познавательной акцией осеннего сезона. Население Чехии мало потребляет в пищу рыбных продуктов. Но в сезон вылова рыбы и на Щедрый вечер карп обязательно должен быть на столе. Ровно за неделю до Сочельника каждый год многотонные цистерны с живой рыбой развезаются по всей стране, и на улицах чешских городов появляются огромные кадки с водой, где плещутся откормленные карпы. В канун Рождества, 24 декабря, на Щедрый вечер, с появлением первой звезды вся семья садится за стол. На первое подается рыбный суп из карпа, на второе – жареный карп с картофельным салатом. По чешскому обычаю, в этот вечер на столе не должно быть ни кусочка мяса. Морскую рыбу тоже не рекомендуется ставить на стол, считается, что она может ускользнуть в океан и унести с собой удачу.

Всего в Чехии выращивают около 20 тыс. т пресноводной рыбной продукции, из которых 19 тыс. т составляет товарная рыба, выращенная в прудах, – карп, растительноядные рыбы и др. 1 тыс. т составляет продукция, выращенная в условиях интенсивной аквакультуры, – форель, осетр и т. д. Общая площадь чешских прудов составляет 51 тыс. га. Прудовое хозяйство можно характеризовать как экстенсивное в связи с продуктивностью, достигающей в среднем уровня 400–500 кг/га. Карпа кормят в основном зерном. Комбикорма для товарного кормления карпа используют мало. 50 % от выращиваемой товарной прудовой продукции экспортируется. Навеска товарного карпа в Чехии традиционно крупная – 1,5–3,0 кг. Также сильно развито декоративное рыбоводство. Так, например, во время посещения авторами статьи Чехии была проведена экскурсия в рыбное хозяйство, владелец которого занимается выращиванием элитного карпа-кои, а также поставками карпа-кои из Японии.

В Чехии стремительно развиваются современные технологии аквакультуры. Так, в период посещения Чехии с нами была проведена экскурсия на оригинальную, по нашему мнению установку замкнутого водоснабжения. Она представляла собой двухуровневую систему. На первом (нижнем уровне) бассейны были сконструированы по датскому (канальному) принципу. В нижнем модуле осуществляли выращивание товарной форели. На втором уровне (верхнем) располагалась установка замкнутого водоснабжения, сконструированная по классическому принципу с использованием круглых бассейнов, в которых осуществляли выращивание молоди радужной форели.

В Чехии есть разные учебные заведения для подготовки специалистов рыбного хозяйства, от училищ и профессиональных средних школ, готовящих соответственно рабочих и техников, до университетов, однако более подробно хотелось бы остановиться на факультете рыбоводства и охраны вод Южно-Чешского университета. Данный факультет располагается в двух городах: Чешские-Будеевице и Водняны, которые славятся образцовой постановкой прудового рыбоводства. В Воднянах есть также специальное среднее учебное заведение по рыбоводству, материально-технической базе которого могут позавидовать многие высшие учебные заведения.

Факультет был создан в 2009 г. на базе научно-исследовательского института рыболовства и гидробиологии (основанного в 1921 г.). Во главе факультета стоит декан, всемирно известный специалист в области размножения рыб, профессор Отмар Линхард. Помощь дека-

ну оказывают четыре вице-декана: по внешним связям, по учебной работе, по научным исследованиям, по международным отношениям. У декана есть два штатных помощника. В состав администрации факультета входят учебный отдел, экономический отдел, отдел менеджмента, отдел бизнеса и инвестиций. На факультете регулярно проходят заседания научного комитета, состоящего из десяти «внутренних» и десяти «внешних» ученых, а также проходят заседания сената факультета, состоящего из восьми преподавателей и четырех студентов. Факультет состоит из четырех институтов и одного научно-производственного центра: научно-исследовательский институт рыбоводства и гидробиологии; институт аквакультуры; институт комплексных систем, институт международного экологического образования, Южно-Чешский научно-производственный центр аквакультуры и биоразнообразия. В состав каждого института входят структурные подразделения факультета – лаборатории. Всего на факультете 13 лабораторий. Во главе лаборатории, как правило, стоит крупный ученый, профессор, доктор наук. Штатный состав каждой лаборатории – 6–12 человек. При этом 50 % и более штатного персонала лаборатории – это аспиранты (по чешски – докторанты). Обращает на себя внимание и интернациональный состав аспирантов: кроме представителей Чехии, в аспирантуре факультета проходят обучение представители России, Ирана, Германии, Японии, Украины, Беларуси (выпускники БГУ и БНТУ). Заведующие лабораторией, научные сотрудники, аспиранты занимаются как научной, так и преподавательской деятельностью. Всего на факультете работают более 100 человек (с учетом администрации деканата и аспирантов). Ежегодно на факультете осуществляется выполнение более 70 фундаментальных и прикладных международных научных исследований.

На факультете ведется подготовка бакалавров по специальностям «Зоотехния» (специализация «Рыболовство») и «Экология и охрана окружающей среды» (специализация «Охрана водных ресурсов»). Срок обучения в бакалавриате – 3 года на очной и заочной формах обучения. Язык обучения чешский. Ежегодно осуществляется набор 100 студентов очной и 50 студентов заочной форм обучения.

На факультете осуществляется подготовка магистрантов по специальности «Зоотехния» (специализации – «Рыболовство» и «Аквакультура»). Срок обучения в магистратуре – 2 года на очной и заочной формах обучения. Языки обучения чешский и английский. Ежегодно

осуществляется набор 45–50 магистрантов очной и 4 магистрантов заочной форм обучения.

Факультет рыбоводства и охраны вод осуществляет подготовку аспирантов по специальности «Зоотехния» (специализация «Рыбоводство»). Срок обучения в аспирантуре – 4 года на очной и заочной формах обучения. Языки обучения чешский и английский. Ежегодно осуществляется набор 12 аспирантов очной и 2 аспирантов заочной форм обучения. Ежегодно проходит 10–12 успешных защит докторских (Ph.D) диссертаций. Следует обратить внимание, что аспирантов постоянно задействуют не только в научном процессе, но и в учебном, а также в производственном (облов прудов, сортировка и др.).

В 2011–2013 гг. три учебных корпуса факультета модернизировались с использованием средств Европейского союза и национального бюджета Чешской Республики. Учебные корпуса были оснащены уникальным технологическим и научно-исследовательским оборудованием, которое позволяет выполнять на высшем уровне исследования и создавать стимулирующие условия для перспективных исследований.

Конференция была организована по случаю открытия нового учебного корпуса факультета рыбоводства и охраны вод – «Южно-Чешский научно-исследовательский центр по аквакультуре и биоразнообразию гидробиоценозов» (Senakva). Организаторы пригласили более 100 экспертов из 16 стран мира, которые имели возможность услышать 46 устных докладов и обсудить 50 стендовых презентаций.

Конференция проходила в течение трех дней и подразделялась на четыре сессии: качество мяса рыбы и питание; воспроизводство и биотехнология; загрязнение водной среды; пресноводная аквакультура коммерчески интересных рыб.

Открытие конференции состоялось во вторник 24 сентября 2013 г. со вступительного слова декана профессора Отомара Линхарта и организатора – кандидата технических наук Мартина Пшеничка. В первый день были заслушаны доклады двух сессий: «Качество мяса рыбы и питание», «Воспроизводство и биотехнология». Всего в этот день выступили 20 докладчиков. 25 сентября, во второй рабочий день конференции, также были заслушаны 20 докладов из сессии «Загрязнение водной среды» и «Пресноводная аквакультура коммерчески интересных рыб». Практически после каждого доклада проходили обсуждения и различные дискуссии, в ходе которых ученые из различных стран обменивались опытом и высказывали свое компетентное мнение по

заданным вопросам. В это же время организаторы завершали подготовку к открытию Центра.

В последний день работы организатор конференции Мартин Пшенничка выступил с заключительными словами благодарности ко всем присутствующим и пожеланиями дальнейших успехов в научной деятельности. По результатам трехдневной работы было запланировано награждение за лучшее студенческое устное выступление и лучший студенческий стендовый доклад. Оба победителя являются молодыми учеными факультета рыбоводства и охраны вод. Награду за лучший доклад получила магистр Хилал Гуралп (Лаборатория репродуктивной физиологии) за выступление на тему «Эмбриональные стадии и начальное развитие половых клеток судака (костистых рыб: окуневых)». Награда за лучший стендовый доклад отправилась к Маркете Прокесовой (Лаборатория контролируемого воспроизводства и интенсивного рыбоводства) за работу «Влияние температуры воды на ранние этапы жизни африканского сома».

Интереса заслуживают следующие научные тематики, которые были представлены на конференции: исследования замены рыбной муки и рыбного жира веществами растительного происхождения; разработка рецептур для повышения уровня омега-3 жирных кислот в мясе карпа за счет использования компонентов растительного происхождения; исследование трудностей стартового кормления карповых рыб; генетические методы определения пола осетровых рыб; применение технологии андрогенеза в аквакультуре; применение различных физиологических сред для активации подвижности сперматозоидов; влияние загрязнений окружающей среды на развитие раков; создание систем мониторинга популяций раков; изучение рынка черной осетровой икры и др.

Международная научно-практическая конференция «Осетровые: прошлое, настоящее и будущее» (Литва). Конференция была организована Службой рыбного хозяйства при Министерстве сельского хозяйства Литовской Республики.

Служба рыбного хозяйства при Министерстве сельского хозяйства Литовской Республики является государственным учреждением, которое реализует законы и иные правовые акты, возложенные на нее политикой рыболовства Литвы на основе общей политики Европейского союза по рыболовству. Служба рыбного хозяйства осуществляет организацию по сохранению и восстановлению рыбных запасов в пресных и морских водах, а также осуществляет прикладные исследования в

области рыбного хозяйства. В задачи службы также входит защита генофонда ценных видов, разработка и координация селекционно-племенной работы в рыбоводстве, поддержка связи с институтами Европейского союза, национальными и международными организациями и научными учреждениями.

Конференция, в которой приняли участие представители Украины, Польши, Чехии, Латвии, России, Беларуси и Литвы, проходила два дня. Основной целью конференции было обсуждение возможности и особенностей восстановления популяций стерляди и балтийского осетра в реках, впадающих в Балтийское море. Первый день конференции прошел в комфортабельном конференц-зале гостиницы «Trasalis» (Тракай). Конференция была открыта торжественной речью заместителя Министра сельского хозяйства Литовской Республики Линой Куялутэ и словами приветствия заместителя директора Службы рыбного хозяйства при Министерстве сельского хозяйства Литовской Республики Айдаса Адомайтиса. В этот день были заслушаны все доклады участников и обсуждены проблемы, связанные с восстановлением осетровых в Восточной Европе. На второй день конференции все участники переместились в живописнейшее место – берег реки Нерис (Вилия). Им было предложено поучаствовать в зарыблении реки молодью атлантического осетра. Здесь же в полевых условиях прошло подведение итогов конференции и дискуссия между участниками. В этот день в реку было выпущено 2,53 тыс. особей осетра средней массой 14 г. Всего за период восстановления балтийского осетра сотрудниками службы рыбного хозяйства было выращено и выпущено в естественную среду более 40 тыс. особей атлантического осетра разных возрастных групп.

В первый день из двенадцати запланированных докладов было заслушано десять, так как остальные докладчики по разным причинам не смогли приехать.

Первым был совместный литовско-белорусский доклад на тему «Возможности интродукции стерляди (*A. ruthenus* L.) в средней части течения реки Неман (Нямунас)» Авторами работы являются В. Кясминас (Центр исследований природы, Литва), В. Гячис (Служба рыбного хозяйства при Министерстве сельского хозяйства Литовской Республики), В. Костоусов (РУП «Институт рыбного хозяйства», Беларусь) и А. Слуквин (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси). В работе был приставлен обзор и план интродукции стерляди (*A. ruthenus* L.) в бассейне р. Неман (Нямунас). В р. Неман потенциальным участком для

вселения может служить трансграничный отрезок русла от г. Мосты до г. Каунаса. В зависимости от экологических условий протяженность участков, пригодных для обитания стерляди, составляет 120–170 км на территории Беларуси и 150–200 км на территории Литвы. Рекомендуемые плотности посадок стерляди в расчете на естественную кормовую базу составляют от 160–240 экз/км для сеголетков/годовиков и 30–50 экз/км для трехлетков-четырёхлетков.

Следующий доклад на тему «Работы по восстановлению исчезающих видов осетровых рыб на примере днестровской стерляди *A. ruthenus* L.» представили Р. Кольман, М. Прусинска, Г. Вишневы, А. Дуда, Б. Здановски из Института пресноводного рыбного хозяйства (г. Ольштын, Польша), А. Худый из Черновицкого национального университета им. Ю. Федковича (г. Черновцы, Украина) и Л. Тертерян (форелево-осетровое племенное хозяйство «Ишхан» пос. Банилив, Черновицкая обл., Украина). Авторами были проведены работы по формированию стада производителей днестровской стерляди, искусственному его размножению и получению личинки. Личинку подращивали в условиях УЗВ до момента перехода на искусственное питание. При этом отметили высокий темп роста и низкую смертность личинок. Выращенным посадочным материалом впервые зарыбили верхний Днестр.

Представители Украины Ю. Пилипенко из Херсонского государственного аграрного университета и В. Плугатарев с Днепровского осетрового рыбноводного завода представили доклад на тему «Результаты воспроизводства и выращивания стерляди (*A. ruthenus* L.) в связи с реакклиматизацией днепровской популяции». Для реализации программы реакклиматизации днепровской популяции стерляди авторами было сформировано ремонтно-маточное стадо, насчитывающее более 10 тыс. разновозрастных особей. С 2010 г. в низовье Днепра интродуцировано 4,02 млн. экз. молоди средней массой от 3 до 4 г (норматив 2,5 г). Результативность работ подтверждается регистрацией стерляди в уловах.

После небольшого перерыва был заслушан доклад «История популяции балтийского осетра». Его представили Р. Кольман из Института пресноводного рыбного хозяйства (г. Ольштын, Польша) и Е. Федотова, Р. Статкус и В. Гячис из Служба рыбного хозяйства при Министерстве сельского хозяйства Литовской Республики. Из доклада стало известно, что осетры могли заселить Балтийское море в атлантическом периоде его развития, т. е. 6900–3700 лет до н. э. Начиная с неолита

осетр стал объектом добычи. Промысловую значимость в Юго-Восточной Балтике осетр имел до конца XIX в., когда в год ловилось до 430 т. Интенсивный лов наряду с застройкой рек и загрязнением водной среды стали основными причинами исчезновения балтийской популяции осетра. К началу 40-х гг. XX в. рыбаки вылавливали только единичные экземпляры, а последний представитель осетровых в Балтийском море был пойман в 1996 г.

Представители Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича (Украина) А. Худый и Л. Худая представили доклад «Биология стерляди в бассейне Днестра». Преобразование бассейна Днестра в процессе гидростроительства отразилось на состоянии популяций осетровых рыб – прерывание миграционных путей, ухудшение условий натурального воспроизводства вызвало сокращение численности всех видов осетровых. Однако довольно многочисленная природная популяция стерляди сохранилась в системе верхний Днестр – Днестровское водохранилище.

Представители Латвии Р. Медне, С. Пурвина и М. Зингис из Научного института безопасности пищевых продуктов, здоровья животных и охраны окружающей среды (BIOR) представили доклад «Миграция атлантического осетра (*Acipenser oxyrinchus*) в первом году после выпуска в устье реки Даугава». В 2013 г. авторы осуществили первый выпуск молоди *Acipenser oxyrinchus* в устье реки Даугава (Латвия). После выпуска мальки пребывали в реке, а зимой мигрировали в море. В 2014 г. осетр распределился по всему заливу. Увеличение веса свидетельствует о том, что рыба хорошо прижилась к местным условиям.

Заслуживает внимание доклад на тему «Экологический и генетический мониторинг остроносого осетра (*Acipenser oxyrinchus Mitchill L.*) при восстановлении натуральной популяции», который подготовили и представили аудиторией А. Пилинковский, Д. Буткаускас и С. Стакенас из Служба рыбного хозяйства при Министерстве сельского хозяйства Литвы и Центра исследований природных ресурсов Литвы. После проведения ряда генетических исследований, были получены доказательства, что популяцию атлантического осетра в Балтийском море более чем две тысячи лет назад вытеснил близкородственный вид – остроносый осетр (*Acipenser oxyrinchus Mitchill L.*). Первые работы по восстановлению остроносого осетра начались в 2010 г. Начиная с 2011 г. более чем 23 тыс. шт. молоди осетра было выпущено в реки. Часть выпущенных осетров была помечена внутренними радиопередатчиками и внешними метками типа «Floy Tag» с целью проведения исследований

миграции, что в итоге дало ценную информацию о миграции и выловах столь ценной рыбы. Очень важно осуществлять генетический мониторинг, который позволяет установить уровень генетического разнообразия восстанавливаемой популяции, а также следить за изменениями генетического пула мигрирующих особей и контролировать этот процесс.

М. Чепуркина (ФГУП «Госрыбцентр», г. Тюмень, Российская Федерация) в работе «Перспективы использования метода обогащения кормов в аквакультуре осетровых видов рыб» представила методы подращивания личинок сибирского осетра и стерляди с помощью живых обогащенных кормов (науплиусы артемии). В работе приводятся данные по темпам линейно-весагового роста и выживаемости молоди. Представленная методика позволяет улучшить существующую технологию и повысить эффективность бассейнового подращивания личинок с начала экзогенного питания.

Завершал конференцию доклад на тему «Влияние различных синтетических гормональных препаратов на созревание самок стерляди (*Acipenser ruthenus* L.)», который представили Я. Коуржил с факультета рыбоводства и охраны вод Южно-Чешского университета и М. Чепуркина из ФГУП «Госрыбцентр». В работе рассматривались методы гормональной стимуляции производителей стерляди различными синтетическими препаратами. Приводились данные по скорости и синхронности созревания ооцитов у самок. Выявлено, что лучшим синтетическим препаратом является «Ovopel».

Международное совещание по осетровым (Россия). Совещание проходило в г. Краснодаре (Российская Федерация) и было организовано Государственным региональным центром сохранения генофонда осетровых «Кубаньбиоресурсы» при участии Всемирного общества сохранения осетровых, Министерства природных ресурсов Краснодарского края и Кубанского института осетроводства. Главным организатором совещания был директор «Кубаньбиоресурсы», всемирно известный специалист в области осетроводства, профессор, доктор биологических наук, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный работник рыбного хозяйства Российской Федерации Михаил Степанович Чебанов.

На совещании собралось 186 ведущих специалистов-осетроводов из 22 стран. В состав участников входили научные работники, практики-осетроводы, руководители крупных икорных компаний, сотрудники профильных министерств различных стран, проектировщики, инве-

сторы, представители компаний, производящие корма для осетровых и оборудование для установок замкнутого водоснабжения.

В совещании приняло участие большое количество всемирно известных специалистов-осетроводов, таких, как Харальд Розенталь (Германия), академик Королевской шведской академии наук, президент Всемирного общества сохранения осетровых; Сергей Борисович Подушка (Россия), создатель прижизненного способа получения икры; Арне Людвиг (Германия), известный генетик осетровых из Института зоологии им. Лейбница, чьи работы регулярно публикуются в журналах Science и Nature; Александр Васильевич Новиков (Россия), президент ГК «Русский икорный дом»; Паоло Бронзи (Италия), вице-президент Всемирного общества сохранения осетровых; Йорн Гесснер (Германия), научный сотрудник Института экологии и рыбного хозяйства внутренних водоемов, один из организаторов программ по восстановлению популяций осетровых в Европе и многие другие.

Программа совещания была насыщенной и включала в себя пленарное заседание, мини-симпозиум, семинар, круглый стол, технические визиты на рыбоводные предприятия.

В ходе пленарного заседания с приветственным словом выступили вице-губернатор Краснодарского края Сергей Павлович Усенко и заместитель министра сельского хозяйства Краснодарского края Олег Васильевич Соленов. Было также зачитано приветственное слово руководителя Федерального агентства по рыболовству Ильи Васильевича Шестакова.

Во время пленарных докладов Харальд Розенталь (Германия) в ходе своего доклада «Аквакультура – хорошо или плохо?» отметил, что аквакультура для производства товарной продукции и аквакультура для пополнения запасов естественных водоемов – это два разных направления, использующих различные подходы и методы для решения специфических задач. Если товарная аквакультура ориентирована на наибольшую выживаемость, высокую конверсию корма, высокий уровень роста, сопротивляемость заболеваниям, рентабельность производства и высокое качество продукции, то искусственное воспроизводство для выпуска молоди в водоемы нацелено для получения потомства, способного быстро реагировать на изменения в окружающей среде, адаптировать свое поведение, различать / избегать хищников, быть достаточно гибким к изменениям параметров воды (таким, как термоклин, недостаток кислорода, мутность, воздействие ветра и волн), сопротивляться патогенной микрофлоре и эффективно взаимо-

действовать с конспецифическими организмами. Таким образом, целью выращивания молоди для выпуска в естественные условия должна быть подготовка ее к суровым диким условиям. Страны, осуществляющие восстановление природных популяций осетровых рыб, должны придерживаться Рамсарской декларации, а также разрабатывать программы по восстановлению популяций осетровых в своих странах по примеру разработанного плана действий (Action Plan) по восстановлению атлантического осетра.

Паоло Бронзи (Италия) в ходе своего доклада «Современное состояние и перспективы развития мирового производства товарных осетровых и икры» отметил, что в последние 30 лет по причине сокращения естественных запасов осетровых наблюдался повышенный спрос на осетровую продукцию, особенно на пищевую черную икру. По этой причине во всем мире было реализовано множество инвестиционных проектов по икорно-товарной аквакультуре. В настоящее время более чем 2100 предприятий занимаются выращиванием осетровых для производства мяса и пищевой икры, из которых более чем 1000 предприятий находятся в Китае. Согласно последним оценкам, объем мирового производства икры в 2015 г. превысил 300 т, из которых 86 т произведено в Китае. Вследствие возросшего предложения и не вполне соответствующего этому росту спроса цены на пищевую икру в настоящее время значительно снизились и продолжают снижаться. Так, к примеру, оптовая цена на традиционную пищевую икру, полученную забойным методом, в ближайшее время может снизиться до 350–400 евро/кг, а цена на овулированную икру – до 150–200 евро/кг. По этой причине икорные компании вступили в фазу жесткой конкуренции между собой, вынуждая друг друга повышать качество пищевой икры, существенно снижая цену. Ухудшает ситуацию тот факт, что новое поколение потребителей, которое уже давно не употребляет икру осетровых как доступный пищевой продукт, мало информировано об этом полезном и статусном продукте.

Йорн Гесснер (Германия) в своем докладе «Аквакультура и восстановление видов – две стороны одной медали?» отметил необходимость разработки разных технологических приемов ко всем расам (озимым и яровым) осетровых в пределах одной популяции.

Михаил Чебанов (Россия) в своем докладе «Экологические и технологические проблемы искусственного товарного выращивания осетровых рыб в Краснодарском крае» обозначил современные проблемы

осетровых рыбоводных заводов: отсутствие диких производителей и в результате вынужденный инбридинг при воспроизводстве.

Леонардо Конджю (Италия) в докладе «Роль маточных стад в адаптивности выпускаемой в естественные водоемы молоди: пластичность и адаптивность как следствие генетической структуры маточных стад» обозначил следующие ключевые моменты, которые необходимо учитывать при формировании маточных стад: увеличение генетического разнообразия путем обмена особями с другими стадами; использование максимально разнородных особей при формировании стада, необходимость четкого представления о составе маточного стада (чистота, происхождение, родственные отношения между особями); выравнивание размера семей (потомков разных пар производителей); поддержание высокой генетической изменчивости путем обмена особями (гаметами) с другими стадами; разделение стада на группы и выращивание порознь; использование старых производителей для снижения числа генераций; выравнивание вклада производителей (или семейных групп) в последующие генерации; избегание близкородственного скрещивания; увеличение генетического разнообразия.

После пленарных докладов работа конференции была разделена на две секции: 1) мини-симпозиум, посвященный проблемам искусственного икорного осетроводства; 2) семинар, посвященный проблемам восстановления диких популяций осетровых рыб.

В рамках работы мини-симпозиума Паоло Бронзи (Италия) в ходе своего доклада «Осетроводство в И. Р. Иран» отметил, что в течение ближайших 10 лет производство мяса и икры в Иране возрастет до 20 000 т и 100 т соответственно.

Сергей Подушка (Россия) рассказал про историю развития методов получения икры осетровых и технологий ее переработки в России.

Паоло Бронзи (Италия) в докладе «Икра – это не всегда икра» отметил, что в настоящее время для производства аналогов и заменителей пищевой икры осетровых используется икра 38 видов рыб и 3 вида диких животных с ежегодным объемом производства более 8000 т.

Ангела Келер (Германия) рассказал о новом методе переработки овулированной икры, полученной прижизненным методом, основанном на использовании специальных сигнальных молекул. Данный метод позволяет отказаться от использования тепловых методов воздействия, а по своим вкусовым качествам используемая икра не уступает традиционной икре.

Михаил Чебанов (Россия) в докладе «Оптимизация управления маточными стадами осетровых для круглогодичного производства овулированной икры» обозначил 3 основных этапа круглогодичного получения икры: 1) отбор производителей (по стадиям зрелости и размерам ооцитов) осуществляется экспресс-методом УЗИ-диагностики; 2) перевод на «зимовку» и содержание производителей при низких температурах различной продолжительности; 3) перевод на нерестовый режим, который зависит от вида осетровых рыб.

Юрий Киташин (Россия) в своем докладе рассказал об особенностях промышленного выращивания осетровых в УЗВ на икру.

Александр Новиков (Россия) в докладе «Опасность применения солей борной кислоты для консервирования икры» отметил опасность применения тетрабората соды (боракса, E 284, E 285) при консервирования пищевой икры, обладающей канцерогенными, мутагенными и токсичными свойствами и способной повлиять на фертильность и нанести вред нерожденному ребенку (в утробе матери). Многочисленными исследованиями установлено, что токсичность боракса совпадает с токсичностью ядов, а на банку с икрой, в которой используется данный консервант, можно клеить символ токсичности ядов «Череп с костями».

Несмотря на многочисленные запреты как в России, так и в странах Европы, боракс до сих пор применяется в качестве консерванта при производстве икры. Это наносит серьезный вред общему имиджу и восприятию продукта на глобальном уровне и приводит к предсказуемым негативным последствиям.

Варвара Горомова в докладе «Классификация и контроль качества икры осетровых рыб» сообщила о безопасных пищевых добавках серии ЛИР и ВАРЭКС, обладающей, в том числе, консервирующим действием для пищевой икры.

Арне Людвиг (Германия) в докладе «Последние случаи нелегальной торговли икрой» представил результаты проведения тестов по идентификации видов и гибридов осетровых с использованием генетических методов. Было отмечено, что в государствах – членах Европейского союза и ключевых странах ареала обитания осетровых сохраняется низкая эффективность контроля за торговлей икрой и широкое распространение обмана потребителей, когда, к примеру, вместо дорогостоящей икры белуги в банке находилась икра сибирского осетра, стоимость которой значительно ниже.

В рамках работы семинара Северина Рок (Франция) выступила с докладом «Генетические характеристики реликтовой популяции атлантического осетра *Acipenser sturio*».

Йорн Гесснер (Германия) в своем докладе рассказал про фитнес-показатели молоди рыб, предназначенной для выпуска, из которых можно выделить четыре основных механизма: а) сенсорные способности и непрерывная нервная сигнализация; б) познавательная способность выявлять существующие угрозы; в) механизмы реагирования, позволяющие эффективно избегать угрозы; г) физические возможности проявления реакции в степени, необходимой для отпора хищнику.

Наталья Бойко (Россия) в докладе «Механизмы адаптаций в раннем онтогенезе осетровых рыб» отметила, что в период завершения желточного периода (эндогенного питания) и перехода к активному образу жизни у личинок осетровых рыб формируется запечатление химических сигналов «родной» среды, что следует принять во внимание при выпуске молоди осетровых рыб в естественный водоем.

Интересные доклады также были у Алеси Бийарслановой (Нидерланды), Елены Галич и Яна Меркулова (Россия), Раисы Ходоревской (Россия), Андрея Тихоморов (Россия), Анны Барминцевой и Николая Мюге (Россия), Эрика Рошара (Франция).

После завершения работы секций состоялось заседание круглого стола, посвященного различным рынкам и ценам, а также принятию различных типов осетровых в разных странах. В ходе работы круглого стола участники выразили беспокойство в связи с увеличением доли присутствия икры, произведенной на территории Китая, на российском рынке, а также на рынках других стран, что приводит к вытеснению местных производителей, а также к снижению доверия со стороны потребителей из-за низкого качества китайской икры.

По сведениям Александра Новикова, 127 икорных предприятий Китая были аттестованы Россельхознадзором, что также не способствовало защите внутренних производителей. Была предложена идея об объединении икорных ферм в один общий бренд (по примеру ГК «Русский икорный дом»). Участники круглого стола обозначили следующие тенденции и перспективы развития икорной аквакультуры осетровых:

- в последующие годы будет сохраняться превышение предложения над спросом, в результате будет происходить значительное снижение цен на пищевую икру, что уменьшит эффективность инвестиционных проектов;

- по-прежнему сохраняется тенденция низкой заинтересованности к овулированной икре в странах Западной Европы и США, главным образом из-за использования термического метода обработки. Однако активизировавшиеся исследования по разработке новых методов переработки овулированной икры позволяют говорить о перспективах увеличения ее вкусовых качеств до уровня традиционной икры. В этом случае в перспективе возможен отказ от традиционных методов получения икры, как экономически невыгодных;

- из-за использования недобросовестными производителями опасных консервантов было ухудшено восприятие продукта (икры) потребителем и подорвано доверие. Необходимо активизировать работу по повышению доверия рынка. Для этого необходимо улучшать систему менеджмента качества продукта и обеспечивать беспрепятственный допуск контролирующих органов (в том числе из других государств);

- современный рынок уже не удивит осетровой икрой. На первое место стало выходить качество этого продукта;

- важно информировать новые поколения потребителей, которые уже давно не употребляют икру осетровых как доступный пищевой продукт, о том, что такое икра, для создания нового «массового рынка».

3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования влияния оптического излучения на рыбопосадочный материал осетровых рыб. Экспериментальные исследования проводились в период 2005–2015 гг. в производственных условиях рыбного цеха совместного белорусско-латвийского предприятия «Акватория» (с 2008 г. частное производственное унитарное предприятие «Акватория», с 2014 г. фермерское хозяйство «Василек») (д. Наквасы, Путчинский с/с, Дзержинский р-н, Минская обл.). Указанный рыбный цех работает по принципу УЗВ.

Основным объектом исследований являлся гибрид С.БС (стерлядь (♀) х бестер F_1 (♂)) на различных этапах развития. Выбор объекта был обусловлен относительной простотой получения (так как стерлядь достигает половозрелости раньше других осетровых) и невысокой стоимостью [333, 334, 335]. В качестве дополнительных объектов исследований использовались производители осетровых рыб различных видов и гибридных форм, а также цельная кровь, сыворотка, половые продукты (неоплодотворенная икра и сперма), вода.

Для отбора производителей в маточное стадо проводили осеннюю бонитировку при температуре воды 8–12 °С, при этом отбирали производителей с гонадами IV стадии зрелости. Для оценки стадии зрелости осуществляли биопсию гонад, которую проводили шуповым методом [330].

Зимовку производителей и преднерестовое выдерживание рыб осуществляли по методикам, широко применяемым в современной практике аквакультуры [124], основанным на управлении водным и температурным режимом и созданием условий, удовлетворяющих физиологические требования осетровых рыб. Весеннюю бонитировку проводили до наступления нерестовых температур. В ходе ее определяли коэффициент поляризации (КП) ооцитов. На основании результатов КП проводили сортировку самок на группы и определяли последовательность использования этих групп в нерестовой компании. Для определения КП извлеченную шуповым методом икру (ооциты) фиксировали двухминутным кипячением в воде. Затем делали разрез фиксированной икринки в плоскости, проходящей по анимально-вегетативной оси. При помощи окуляра-микрометра определяли расстояние от ядра до оболочки анимального полюса (А) и общий диаметр ооцита (В). Полученные величины позволяли вычислить значение КП по формуле: $KP = A/B \cdot 100 \%$ [170, 171].

Для оценки физиологического состояния, интенсивности метаболических реакций и репродуктивного статуса производителей в преднерестовый период проводили морфофизиологические, биохимические, гормональные исследования крови осетровых рыб. Отбор проб крови осуществляли из хвостовой вены по стандартным методикам [97, 321, 372]. В ходе морфофизиологических исследований в цельной крови определяли следующие показатели: содержание гемоглобина, общее число эритроцитов, гематокритную величину, эритроцитарные индексы. Содержание гемоглобина (HGB) и общее число эритроцитов (RBC) определяли методом фотоэлектроколориметрии на эритрогеметре. Гематокритную величину (PCV) определяли по методу Гедина [47, 62, 88]. Капилляры со стабилизированной кровью центрифугировались на 5000–6000 об/мин в течение 9 минут. Затем при помощи миллиметровой линейки проводили отсчет объема эритроцитов и плазмы. Эритроцитарные индексы рассчитывали по общепринятым формулам [47]: среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH) вычисляли по формуле: $MCH (пг) = HGB (г/л) / RBC (\times 10^{12})$; средний объем эритроцита (MCV) вычисляли по формуле: $MCV (мкм^3) = PCV (л/л) \times 1000 / RBC (\times 10^{12})$; среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците (MCHC) вычисляли по формуле: $MCHC (г/л) = HGB (г/л) / PCV (\%) \times 100$. В ходе биохимических исследований в сыворотке крови определяли показатели белкового (общий белок), углеводного (глюкоза) и минерального (концентрация кальция и неорганического фосфора) обмена, а также содержание ферментов переаминирования (аспартатаминотрансфераза – АсАТ, аланинаминотрансфераза – АлАТ). Биохимические исследования проводились фотометрическими методами (измерение оптической плотности проводили на спектрофотометре СФ-46) с использованием биохимических наборов НТПК «Анализ Х». Определение показателей проводили согласно инструкциям, прилагаемым к наборам. Общий белок сыворотки крови определяли биуретовым методом [47]. Концентрацию глюкозы в крови определяли ферментным методом [111]. Определение общего кальция в сыворотке крови проводили комплексо-метрическим методом по Уилкинсону [111]. Неорганический фосфор в безбелковом фильтрате крови определяли по реакции с ванадат-молибдатовым реактивом (по Пулсу) [111]. Содержание аминотрансфераз (АсАТ, АлАТ) в сыворотке крови определяли методом Райтмана-Френкеля [111].

Для стимулирования созревания производителей в зависимости от сроков нереста применяли ацетонировый гипофиз осетровых рыб

(АГП) и суперактивный аналог гонадропин-релизинг-гормона GnRHа «Сурфагон» [322]. Получение овулированной икры осуществляли методом подрезания яйцеводов [142]. Отбор спермы осуществили при помощи катетера. Оценка качества спермы определялась по подвижности сперматозоидов по 5-балльной шкале Персова [129]. Для оплодотворения использовалась свежеполученная сперма или охлажденная [368]. Определение процента оплодотворения проводили на стадиях второго-третьего деления. Время отбора проб определяли по графикам зависимости стадии развития от температуры воды и времени инкубации [247]. Контроль за эмбриональным развитием оплодотворенной икры (эмбрионов) проводили на стадиях «большой и маленькой желточной пробки» (стадии 16–17), короткой и прямой удлиненной сердечной трубки (стадии 27–28) и перед началом выклева (стадия 35). Расход воды в инкубационных аппаратах задавали согласно рекомендациям [112].

Для профилактики заболеваний икры и рыб осуществляли регулярные санитарно-профилактические мероприятия, предусмотренные для осетровых хозяйств индустриального типа [29, 56].

Исследования спектров поглощения меланина проводили в ГНУ «Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси». Регистрацию спектров поглощения синтетического DOPA-меланина (производства Sigma) проводили на спектрофотометре Specord M40 UV VIS (Carl Zeiss, Германия) при физиологических значениях pH в стандартных спектрофотометрических кюветах. Вследствие плохой растворимости пигмента предварительно его вносили в раствор КОН (~pH 11), затем указанный раствор титровали соляной кислотой до конечного значения pH 7,3.

Воздействие поляризованным лазерным излучением осуществлялось с помощью аппарата лазерного терапевтического «Сенс 815», созданного в Институте физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси. Данный аппарат создан на основе одномодового полупроводникового лазера с длиной волны излучения, расположенной в ИК спектральном диапазоне $\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм. Индукция постоянного магнитного поля, создаваемого магнитом, встроенным в модуль магнитолазерный и магнитосветодиодный, не менее 10 мТл. Средневыпрямленное значение индукции переменного магнитного поля не менее 1 мТл [4].

В качестве источника излучения сверхярких светодиодов использовали аппарат «Sturgeon-Red», созданного на базе сверхярких светодиодов. Технические характеристики аппарата позволяли производить

воздействие на икру как неполяризованным, так и поляризованным излучением красной области спектра в непрерывном режиме на длине волны $\lambda = 630 \pm 10$ нм ($\Delta\lambda = 15$ нм). Мощность излучения (W) на выходе излучателя контролировали с помощью измерителя средней мощности ИМО-3С. Плотность мощности во всех вариантах воздействия составляла $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см², что, согласно [333, 334], является оптимальным значением для стимуляции эмбрионального и пост-эмбрионального развития осетровых рыб.

В исследованиях влияния оптического излучения различных длин волн на развитие молоди рыб в качестве воздействующего фактора использовались светодиодные ($\lambda = 450 \pm 15$ нм, синяя область спектра; $\lambda = 630 \pm 10$ нм, красная область спектра) и лазерные ($\lambda = 808$ нм, ИК – область спектра) источники излучения. В эксперименте изучены следующие варианты воздействия: 1 – контрольная (интактная) группа; 2–4 – группы, на эмбрионы которых воздействовали оптическим излучением синей, красной и инфракрасной областей спектра соответственно; 5–8 – группы, на эмбрионы которых последовательно воздействовали излучением синего и красного (5); красного и синего (6); синего и ИК (7); ИК и синего (8) спектральных диапазонов.

В исследованиях зависимости биологического действия оптического излучения от типа его поляризации и когерентности в качестве источников излучения использовались гелий-неоновые лазеры ЛГН-111 (НПО «Полярон», г. Львов, Украина, ($\lambda = 632,8$ нм, $\Delta\lambda = 0,02$ нм, $L_{\text{ког}} \sim 2000$ мкм), а также светодиодные источники различной степени монохроматичности: красный квазимонохроматический светодиод с $\lambda = 631$ нм ($\Delta\lambda = 15$ нм, $L_{\text{ког}} \sim \lambda^2/\Delta\lambda = 26$ мкм); широкополосный белый светодиод ($\lambda = 420\text{--}800$ нм с максимумами при $\lambda = 453$ и 567 нм; полуширина основной полосы составляет $\Delta\lambda = 130$ нм, а длина когерентности (без учета минорной компоненты) $L_{\text{ког}} < 2,5$ мкм). Режим работы всех источников непрерывный.

Увлажненная оплодотворенная икра гибрида С.БС на 24 стадии эмбрионального развития помещалась в чашку Петри в виде монослоя. Лазерный излучатель аппарата располагался над чашкой Петри, а излучение расфокусировалось линзой таким образом, чтобы размер светового пятна соответствовал размеру монослоя облучаемой икры.

Для исключения возможной роли артефактов, вызванных неоднородным пространственным распределением воздействующего излучения, положение чашки Петри относительно светового пятна изменя-

лось каждые 15–20 с без изменения расстояния до источника излучения.

Для определения оптимального времени воздействия, оказывающего максимальный стимулирующий эффект на рыбоводно-биологические показатели осетровых рыб, облучение икры проводили в течение $t = 30; 60; 90; 180; 300; 600$ с при температуре 16 ± 1 °С. Контрольные (интактные) образцы икры также помещались в чашку Петри и находились в тех же условиях (за исключением облучения), что и опытные образцы.

После процедуры облучения икру помещали для дальнейшего инкубирования в уменьшенные образцы аппаратов Вейса, где, достигнув завершения эмбрионального развития, происходил выклев предличинки. Опытные и контрольные группы содержали в отдельных аппаратах, в которых обеспечивалось постоянство гидрохимических условий.

Методы дальнейшего инкубирования икры и выращивания молоди подробно изложены в [333, 334].

Процесс эмбрионального развития осетровых рыб изучали по Т. А. Детлаф и др. [51]. Ежедневно проводился отбор оболочек, мертвой икры и личинок [160]. Перевод личинок на экзогенное питание осуществляли согласно рекомендациям, основанным на особенностях рассасывания желточного мешка, поведения и физиологического состояния предличинки [111]. Кормление осуществлялось искусственными и живыми кормами (науплии артемии) в соотношении 60:40 % (первые 2 недели). В последующем 100 % искусственные корма [274, 286]. Инкубация яиц *Artemia salina* осуществлялась согласно инструкции [71]. В качестве искусственных кормов использовали стартовый корм «Aller Futura» фирмы «Aller aqua» (№ крупки 000, 00, 0; сырой протеин – 64 %, сырой жир – 9 %, углеводы – 7 %).

Выживаемость и размерно-весовые показатели определяли на стадиях выклева, перехода на активное питание, в 30 суток и 50 суток с момента выклева.

Используя полученные данные длины (L) и массы (W) тела, для определения темпа роста рыб вычисляли абсолютный прирост длины – $La = L_2 - L_1$ – и абсолютный прирост массы – $Wa = W_2 - W_1$; относительный прирост длины – $Lo = (L_2 - L_1) 100/L_1$ и относительный прирост массы – $Wo = (W_2 - W_1) 100/W_1$; относительный среднесуточный прирост длины – $Lc = Lo/(t_2 - t_1)$ – и относительный среднесуточный прирост массы – $Wc = Wo/(t_2 - t_1)$; удельная скорость роста длины $C_1 = (\ln L_2 - \ln L_1)/(t_2 - t_1) 100$; удельная скорость роста массы

$C_w = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \cdot 100$ [98, 233]; коэффициент упитанности по Фультону $(W \cdot 1000) / L^3$ и линейно-соматический критерий (отношение длины в сантиметрах к массе в граммах) [90].

На основании полученных данных определяли величину стимулирующего действия лазерного излучения: для массы ($\gamma_w = (W_o / W_k) \cdot 100 \%$, где W_o – масса личинок и молоди гибрида С.БС, эмбрионы которых подвергались воздействию оптическим излучением, т. е. опытная группа; W_k – масса личинок и молоди возвратного гибрида С.БС, эмбрионы которых не подвергались воздействию оптическим излучением, т. е. контрольная группа), для длины ($\gamma_l = (L_o / L_k) \times 100 \%$, где L_o – длина личинок и молоди в опытной группе; L_k – длина личинок и молоди в контрольной группе).

При достижении 50-дневного возраста, стандартного для посадочного материала молоди осетровых рыб, проводили гематологические исследования и тесты на жизнестойкость. Гематологические (морфофизиологические) исследования, а также отбор крови проводили по вышеуказанным методикам. Поскольку общее количество крови у молоди очень мало, приходилось брать «суммарные» пробы крови, т. е. от нескольких экземпляров, что допустимо в методиках исследований личинок и молоди осетровых рыб [2, 97].

Жизнестойкость молоди определяли методом функциональных нагрузок [97] и с помощью теста на устойчивость к токсикантам [195]. Экологический метод функциональных нагрузок включал в себя тесты на терморезистентность, устойчивость к дефициту кислорода, устойчивость к голоданию. Для контроля жизнестойкости отбиралось по 30 экземпляров молоди от каждой опытной и контрольной группы для каждого из 4 тестов. Методы контроля показателей детально описаны в [333, 334, 335].

На основании полученных данных определяли величину стимулирующего действия лазерного излучения для устойчивости молоди осетровых рыб к дефициту кислорода: $\gamma_{O_2} = ([O_2]_k / [O_2]_o) \cdot 100 \%$, где $[O_2]_k$ – пороговая концентрация растворенного в воде кислорода (мг/л) для контрольной группы; $[O_2]_o$ – пороговая концентрация растворенного в воде кислорода для опытной группы.

Величину стимулирующего действия лазерного излучения для терморезистентности молоди осетровых рыб определяли по формуле: $\gamma_t = (t_o / t_k) \cdot 100 \%$, где t_o – продолжительность (мин) выживания молоди осетровых рыб при температуре 32 °С, то есть терморезистентность для опытной группы; t_k – терморезистентность для контрольной группы.

На основании полученных результатов определяли величину стимулирующего действия для устойчивости молоди осетровых рыб к голоданию: $\gamma_{hun} = (HUN_o / HUN_k) \cdot 100 \%$, где HUN_o – средняя продолжительность выживания (час) молоди осетровых в условиях полного отсутствия корма, т. е. устойчивость к голоданию в опытной группе; HUN_k – устойчивость к голоданию в контрольной группе.

Изучали влияние токсических веществ на жизнестойкость исследуемых рыб. Рабочая концентрация (доза) и время воздействия токсиканта (сульфата меди) подобраны на основе проведенных ранее исследований [195]. Величину стимулирующего воздействия лазерного излучения определяли по формуле: $\gamma_{to} = (N_{жив} / N) 100 \%$, где γ_{tox} – величина стимулирующего воздействия; $N_{жив}$ – количество выживших экземпляров молоди после воздействия токсиканта в течение 7 суток; N – количество экземпляров молоди в начале воздействия токсиканта. Длительность воздействия токсиканта на протяжении 7 суток выбрана из того расчета, что к указанному временному промежутку наблюдался летальный исход (гибель) всех экземпляров молоди контрольной группы (на эмбрионы которой не воздействовали лазерным излучением).

Экстерьерные показатели товарной рыбы изучали по общепринятым в рыбоводстве и ихтиологии методам [148].

Экономическую эффективность рассчитывали по методике оценки экономической эффективности научных исследований в товарном осетроводстве Ю. И. Михайловой [113].

Мониторинг жизнестойкости молоди осетровых рыб, выращенных в установках замкнутого водоснабжения Беларуси. Мониторинг жизнестойкости молоди определяли эколого-физиологическим методом функциональных нагрузок (описан выше), оценкой по «фоновым» реакциям пигментных клеток и поведенческим методом.

Тест «открытого поля» проводился для выявления адаптивных возможностей центральной нервной системы (ЦНС) молоди осетровых, отражающих ее способность к быстрому реагированию на изменение условий окружающей среды. В опыте определяли остроту реакции молоди из тестируемой выборки на различные раздражители. В процессе теста регистрировали ориентировочную двигательную активность (ОА), фоновую активность (ФА), реактивность (РА). На основе полученных абсолютных характеристик рассчитывали относительные показатели, которые позволяли судить о том, в какой мере рыба способна усиливать (замедлять) двигательную активность под действием сильных сенсорных стимулов: $ПА \% = ОА/ФА \cdot 100$, где ПА – показа-

тель активации; $ПР \% = РА/ФА \cdot 100 \%$, где ПР – показатель реактивности.

Оценку способности к осуществлению «фоновых» реакций меланофоров молоди осетровых рыб осуществляли по рекомендациям К. Д. Краснодембской [86]. Для предупреждения наступления стойкой агрегации пигмента в меланофорах воду в испытуемых емкостях постоянно аэрировали. Оценку «фоновых» реакций меланофоров осуществляли по разработанной шкале меланофоровых индексов (от 1 до 5 баллов).

Для сравнения полученных результатов по жизнестойкости молоди в условиях установок замкнутого водоснабжения с показателями жизнестойкости выращенной на естественном температурном и водном режимах молоди пользовались литературными данными.

Исследование влияния оптического излучения низкой интенсивности на жаброногого рачка *Artemia salina* L. Исследования проводились в Институте физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси в 2011 г. Для оценки качества цист артемии использовали экспресс-метод, который заключался в раздавливании цист между двумя предметными стеклами и рассматривании в лупу при 10–15-кратном увеличении. Жирные пятна на стекле свидетельствовали о том, что яйца живые. Для придания цистам сферической формы и для подготовки их к декапсуляции использовали метод гидратации, который заключался в замачивании яиц в артезианской воде в течение 2 часов при температуре 26 °С.

Как известно, цисты артемии покрыты хорионом – твердым слоем, состоящим из липопротеинов, пропитанных хитином и продуктом распада гемоглобина – гематином. Важной функцией хориона является защита эмбриона от механического повреждения и радиации. Поэтому для определения влияния оптического излучения важным было снять хорионовую оболочку. Для удаления хориона использовали метод декапсуляции. Для приготовления декапсулирующего раствора использовали $Ca(OCl)_2$ с содержанием активного хлора 52 % в количестве 40 г/л, а также Na_2CO_3 в количестве 40 г/л. После декапсуляции цист осуществляли интенсивную промывку в водопроводной, а затем в артезианской воде. Адсорбированный осадок $Ca(OCl)_2$ на декапсулированных цистах дезактивировали методом погружения в 0,1%-ный раствор $Na_2S_2O_3$, после чего снова промывали в воде. Для приготовления инкубационной среды использовали артезианскую воду и поваренную нейодированную соль NaCl. Соленость инкубационной среды состав-

ляла 5 г/л. Для увеличения буферной способности среды дополнительно вносили 2 г/л NaHCO_3 . Для активации цист непосредственно в инкубационную среду вносили 3%-ный раствор H_2O_2 из расчета 1 мг/л.

После завершения процесса декапсуляции цисты помещались в чашки Петри внутренним диаметром 3,4 см и подвергались воздействию лазерного излучения при плотности мощности $P = 3 \text{ мВт/см}^2$. Чашки Петри с контрольными группами науплий находились рядом и были экранированы от облучаемых светонепроницаемым экраном. Длительность лазерного воздействия варьировалась в ряду: 60; 90; 180; 300; 600 с. Длина волны излучения составляла 632,8 нм (гелий-неоновый лазер); 808; 976 нм (полупроводниковые лазеры); 1064; 1342 нм (лазеры на кристаллах Nd:YVO_4 с диодной накачкой и реализацией генерации на ${}^4\text{F}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{11/2}$ и ${}^4\text{F}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$ переходах ионов Nd); 1176 нм (лазер с диодной накачкой и с последующим ВКР-преобразованием излучения 1064 нм). После завершения процедуры лазерного воздействия чашки Петри с контрольными и облученными особями помещались в воздушный термостат, в котором обеспечивалось поддержание температуры на уровне $27 \pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$ и исключалась посторонняя засветка. Через 24 и 48 часов после процедуры облучения производилось фотографирование содержимого каждой чашки Петри на цифровую камеру Cyber-Shot DSC-P200 с объективами Carl Zeiss® Vario-Tessar® с последующей обработкой результатов с помощью программы Photoshop CS3 и использованием инструмента Count Tool и функции Grid. Для удобства подсчета пользовались графическим планшетом Trust Canvas Widescreen Tablet, с помощью которого визуально подсчитывалась доля выключившихся науплий: $N = n_{\text{в}} / n_{\text{ц}}$ – отношение числа выключившихся ($n_{\text{в}}$) науплий к числу цист, заложенных на инкубацию ($n_{\text{ц}}$). Величина фотобиологического эффекта оценивалась как $\gamma = (N_0 / N_{\text{к}}) \cdot 100 \%$, где N_0 и $N_{\text{к}}$ – доля выключившихся науплий в опытных и контрольных чашках соответственно.

Биохимические, гормональные и ультразвуковые исследования репродуктивной функции ремонтно-маточного стада осетровых рыб в условиях аквакультуры. Исследования выполнялись на кафедре ихтиологии и рыбоводства и на кафедре биотехнологии и ветеринарной медицины УО БГСХА в течение 2011–2014 гг. Биохимические исследования проводились в лаборатории прикладной эндокринологии, биотехнологии и ветеринарной медицины УНИИЖиВМ при УО БГСХА (аттестат № ВУ/112 02.1.0.1691 от 23 мая 2011 г.). Гидрохимические исследования выполнялись в ГУ «Дзержинский

районный центр гигиены и эпидемиологии» (аттестат № ВУ/112.02.1.0.0094). Производственные исследования выполнялись в рыбном цехе осетрового завода «Акватория»; в рыбном цехе ООО «Ремона» (г. Могилев); в рыбном цехе ООО «ТМ» (г. Минск), работающим по принципу установки замкнутого водоснабжения (УЗВ), а также в хозрасчетном участке «Вилейка» РУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр по животноводству Национальной академии наук Беларуси» (Молодечненский район, Минская область).

Биохимическими методами исследовалась кровь осетровых рыб различного вида (стерлядь, ленский осетр, различные гибридные формы) и в нерестовый период.

Рыбу отбирали осенью для возможного использования в воспроизводстве самок с гонадами, находящимися в III, III–IV и IV стадии зрелости, и самцов с гонадами в III–IV и IV стадии. Во время осенней бонитировки отделяли от основной группы или помечали самок, впервые созревающих, а также самок с гонадами на III и III–IV стадии зрелости.

Осенняя бонитировка маточного стада и старшего ремонта проводилась при снижении температуры воды до 12 °С, при которой рыбу обычно прекращали кормить.

Для отбора зрелых производителей при осенней бонитировке использовали метод определения стадий зрелости гонад при помощи неинвазивного экспресс-метода УЗИ.

Биопсия гонад осуществлялась путем введения через брюшную стенку или через боковые мышцы специального стального щупа. Во избежание повреждения внутренних органов и облегчения отбора участка генеративной ткани предварительно делали прокол кожи шилом, а затем отбирали пробу при помощи щупа. Предварительно продезинфицированный щуп вводился между рядами боковых и брюшных жучек в задней трети брюшка под острым углом к оси тела на глубину 5–7 см. При повороте щупа по оси в канавке оставалась ткань гонады.

Зимовка происходила при содержании рыбы при низкой температуре (2–6 °С) в течение 2–3 месяцев. Зарыбление зимовальных водоемов проводили при среднесуточной температуре воды не выше 8 °С. Оптимальный температурный интервал содержания рыб во время зимовки составлял 4–5 °С. При этом допускалось кратковременное повышение температуры до 7 °С и ее понижение до 2 °С. В зимовальных бассейнах поддерживался постоянный расход воды, обеспечивающий

80–100 % насыщения воды кислородом. Содержание кислорода менее чем 60%-ного насыщения не допускалось.

Зимовку производителей осетровых рыб и преднерестовое выдерживание осуществляли по стандартным методикам [190].

Для проведения зимовки использовались металлические бассейны, в которых обеспечивался постоянный водообмен с полной заменой воды в течение 3 часов. В течение всего периода зимовки в бассейнах осуществляли контроль за санитарным (накопление взвесей и пр.) и гидрохимическим режимами в бассейнах. Также контролировали состояние и поведение рыб. Кормление производителей в период зимовки не производилось, что являлось важным условием эффективного завершения созревания гонад.

При получении половых продуктов в осенне-зимний период и ранней весной (до начала основного нерестового сезона) перевод на зимовальный режим и вывод из него производился искусственно. При этом мы придерживались следующих рекомендаций: перевод в режим зимовальных температур производился постепенно с температурным градиентом 1–2 °С в сутки – для самок и 2–3 °С – для самцов; рыб с поврежденными кожными покровами содержали при температуре 8–10 °С до полного выздоровления и только после этого понижали температуру; перевод в нерестовый режим был постепенным: с суточным градиентом при повышении температуры не более чем на 1,5 °С и 2–3 °С – для самок и самцов соответственно, с периодами содержания при постоянной температуре.

Весенняя бонитировка проводилась до наступления нерестовых температур. Для использования в нерестовой компании в процессе бонитировки отбирали только производителей, гонады которых достигли IV стадии зрелости. При отборе зрелых самцов наиболее эффективным оказался метод УЗИ-диагностики. Зрелых самцов отбирали по внешним признакам. В выращенных маточных стадах у большинства видов созревшие самцы имели выраженный «брачный наряд».

Состояние зрелости гонад определяли на основании их строения и расположения в полости тела [237]. При описании стадий зрелости гонад и развития внутренних органов пользовались атласом и инструкцией М. Chebanov и Е. Galich [236].

Во время весенней бонитировки степень готовности к нересту самок, отобранных осенью, определяли с использованием метода биопсии гонад по значениям коэффициента поляризации ооцитов. Во время бонитировки самок, гонады которых не достигли за период зимовки

IV стадии зрелости, а также самок с резорбцией ооцитов отбраковывали и отсаживали в нагул.

Для расчета коэффициента поляризации не менее 10 ооцитов, извлеченных от каждой самки, фиксировали путем кипячения в физиологическом растворе с течением двух минут. После фиксации для предотвращения высыхания препарата ооциты находились в физиологическом растворе. Фиксированные ооциты разрезали в меридиональном направлении и изучали под биноклем, оснащенным окуляром-микрометром.

Для инъекций использовали медицинские шприцы. Длину и диаметр иглы, а также объем шприца подбирали в зависимости от размера рыбы, дозы и типа препарата. Инъекции производили в спинные жучки между спинными и боковыми жучками на уровне 3–5 спинных жучек. При введении препаратов в мышечные ткани соблюдали осторожность и следили за тем, чтобы рыба при сжатии мышц не вытолкнула препарат.

Биохимическими, ультразвуковыми, рыбоводно-биологическими методами исследовались кровь, внутренние органы (печень и гонады), половые продукты осетровых рыб различного пола, возраста (молодь, сеголетки, двухлетки, трехлетки, ремонтно-маточное и маточное стадо), вида (стерлядь, ленский осетр, различные гибридные формы, веслонос, белуга) и в различные биологические и технологические циклы (периоды нагула, бонитировки, зимовки, преднерестового выдерживания и нереста).

Отбор крови осуществлялся прижизненно из хвостовой вены с соблюдением ветеринарно-санитарных правил и принципов гуманного отношения к животным.

Отбор материала и работа с ним проводились в спецодежде, в одноразовых перчатках. Сгустки крови и сыворотку крови перед утилизацией в общую канализационную сеть обезвреживали только с применением дезинфицирующих растворов (в соответствии с действующими инструкциями по обеззараживанию). Наконечники, микропробирки, пробирки, пипетки и др., используемые при работе с кровью и сывороткой крови, обеззараживались в 6%-ном растворе перекиси водорода с экспозицией 3 ч в термостате или сушильном шкафу при 50 °С. После этого промывали под проточной водой, затем промывали 3–5 мин в дистиллированной воде и высушивали в термостате или сушильном шкафу при 60–100 °С в течение 15 мин. Отработанные наконечники, микропробирки, пробирки, пипетки и др., используемые при

работе с кровью и сывороткой крови, складывались в течение рабочего дня в емкости с дезинфицирующим раствором до полного вертикального погружения. Рабочие поверхности лабораторных столов обеззараживали 70%-ным спиртом с последующим фламбированием. Дезинфекционная обработка оборудования (центрифуги, микроскопы, холодильники и др.) проводилась раствором 70%-ного спирта. После каждого контакта с биологическим материалом тщательно мыли руки, а использованные одноразовые перчатки утилизировали.

Кровь отбирали в утреннее время, до кормления. Процесс отбора крови был максимально безболезненным и быстрым. Процесс взятия крови не превышал 30 с. Кровь отбиралась в чистые, сухие пробирки. Для биохимических исследований отбирали венозную кровь в объеме 3 мл. Полученный материал сразу же закрывали пробками, не допуская контакта с внешней средой. Для получения сыворотки крови антикоагулянт не добавляли. Сыворотку крови получали после свертывания крови при температуре +18–20 °С, с последующим охлаждением при температуре +4 °С и центрифугированием в течение 15 минут при 3000 об/мин на лабораторной центрифуге.

При проведении иммуноферментного анализа выполнялись следующие требования:

- температура помещения составляла +18–25 °С;
- дозаторы, используемые для дозирования растворов, проходили регулярную проверку на точность и сходимость результатов пипетирования;
- промывающее устройство для планшетов регулярно проверялось на отсутствие неравномерного заполнения лунок отмывочным раствором и/или его неполное удаление;
- спектрофотометр перед измерением оптической плотности обязательно проходил предварительный прогрев, а также осуществлялась регулярная его поверка;
- при использовании термостата для исключения подсыхания лунок во время длительной инкубации – их заклеивали специальной бумагой для заклеивания планшет, входящей в комплект набора реагентов;
- посуда для приготовления рабочих растворов реагентов была тщательно вымыта;
- перед проведением анализа все компоненты набора, а также используемые разбавители прогревались до комнатной температуры (+18–25 °С).

В полученной сыворотке крови определялась концентрация следующих гормонов: лютеинизирующий гормон (ЛГ), фолликулостимулирующий гормон (ФСГ), хорионический гонадотропин (ХГ), прогестерон, эстрадиол, тестостерон, дегидроэпиандростерон (ДЭАС), кортизол.

Определение лютеинизирующего гормона основано на использовании «сэндвич»-варианта твердофазного иммуноферментного анализа. На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы мышинные моноклональные антитела к бета-цепи ЛГ человека. В лунках планшета при добавлении исследуемого образца происходит связывание ЛГ, содержащегося в исследуемом образце, с антителами на твердой фазе. Образовавшийся комплекс выявляют с помощью конъюгата мышинных моноклональных антител к альфа-цепи ЛГ/ФСГ/ХГ человека с пероксидазой хрена. В результате образуется связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с раствором субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) происходит окрашивание растворов в лунках. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации лютеинизирующего гормона в исследуемом образце. Концентрацию лютеинизирующего гормона в исследуемых образцах определяют по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания лютеинизирующего гормона в калибровочных пробах.

Определение фолликулостимулирующего гормона основано на использовании «сэндвич»-варианта твердофазного иммуноферментного анализа. На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы мышинные моноклональные антитела к бета-цепи ФСГ человека. В лунках планшета при добавлении исследуемого образца происходит связывание ФСГ, содержащегося в исследуемом образце, с антителами на твердой фазе. Образовавшийся комплекс выявляют с помощью конъюгата мышинных моноклональных антител к альфа-цепи ЛГ/ФСГ/ХГ человека с пероксидазой хрена. В результате образуется связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с раствором субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) происходит окрашивание растворов в лунках. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации фолликулостимулирующего гормона в исследуемом образце. Концентрацию фолликулостимулирующего гормона в исследуемых образцах определяют по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания фолликулостимулирующего гормона в калибровочных пробах.

Определение хорионического гонадотропина основано на использовании «сэндвич»-варианта твердофазного иммуноферментного анализа. На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы мышинные моноклональные антитела к β -субъединице хорионического гонадотропина человека. В лунках планшета при добавлении исследуемого образца происходит связывание ХГ, содержащегося в исследуемом образце, с антителами на твердой фазе. Образовавшийся комплекс выявляют с помощью конъюгата мышинных моноклональных антител к альфа-цепи ЛГ/ФСГ/ХГ человека с пероксидазой хрена. В результате образуется связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с раствором субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) происходит окрашивание растворов в лунках. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации хорионического гонадотропина в исследуемом образце. Концентрацию хорионического гонадотропина в исследуемых образцах определяют по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания хорионического гонадотропина в калибровочных пробах.

Определение прогестерона основано на использовании конкурентного иммуноферментного анализа. На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы мышинные моноклональные антитела к прогестерону. Прогестерон из образца конкурирует с конъюгированным прогестероном за связывание с антителами на поверхности лунки. В результате образуется связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с раствором субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) происходит окрашивание растворов в лунках. Интенсивность окраски обратно пропорциональна концентрации прогестерона в исследуемом образце. Концентрацию прогестерона в исследуемых образцах определяют по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания прогестерона в калибровочных пробах.

Определение эстрадиола основано на использовании конкурентного иммуноферментного анализа. На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы кроличьи поликлональные антитела к эстрадиолу. Эстрадиол из образца конкурирует с конъюгированным эстрадиолом за связывание с антителами на поверхности лунки. В результате образуется связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с раствором субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) происходит окрашивание растворов в лунках. Интенсивность окраски обратно пропорциональна концентрации эстрадиола в

исследуемом образце. Концентрацию эстрадиола в исследуемых образцах определяют по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания эстрадиола в калибровочных пробах.

Определение тестостерона основано на использовании конкурентного иммуноферментного анализа. На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы мышинные моноклональные антитела к тестостерону. Тестостерон из образца конкурирует с конъюгированным тестостероном за связывание с антителами на поверхности лунки. В результате образуется связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с раствором субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) происходит окрашивание растворов в лунках. Интенсивность окраски обратно пропорциональна концентрации тестостерона в исследуемом образце. Концентрацию тестостерона в исследуемых образцах определяют по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания тестостерона в калибровочных пробах.

Определение дегидроэпиандростерон-сульфата основано на использовании конкурентного иммуноферментного анализа. На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы кроличьи поликлональные антитела к ДЭАС. Дегидроэпиандростерон-сульфат из образца конкурирует с конъюгированным ДЭАС за связывание с антителами на поверхности лунки. В результате образуется связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с раствором субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) происходит окрашивание растворов в лунках. Интенсивность окраски обратно пропорциональна концентрации дегидроэпиандростерон-сульфата в исследуемом образце. Концентрацию дегидроэпиандростерон-сульфата в исследуемых образцах определяют по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания дегидроэпиандростерон-сульфата в калибровочных пробах.

Определение кортизола основано на использовании конкурентного иммуноферментного анализа. На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы мышинные моноклональные антитела к кортизолу. Кортизол из образца конкурирует с конъюгированным кортизолом за связывание с антителами на поверхности лунки. В результате образуется связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с раствором субстрата тетраметилбензидина (ТМБ) происходит окрашивание растворов в лунках. Интенсивность окраски обратно пропорциональна концентрации кортизола в

исследуемом образце. Концентрацию кортизола в исследуемых образцах определяют по калибровочному графику зависимости оптической плотности от содержания кортизола в калибровочных пробах.

В полученной сыворотке крови определялась активность аспаратаминотрансферазы (AST), щелочной фосфатазы (ALP), аланинаминотрансферазы (ALT), γ -глутамилтрансферазы (GGT), холестерина (Chol), лактатдегидрогеназы (LDH), триглицеридов (TG), кальция (Ca), общего белка (TP), фосфора (P), мочевой кислоты (UA). Все исследования мы проводили при температуре 25 °C с использованием реактивов фирмы Cormay.

Исследования проводили на свежей сыворотке, без следов гемолиза. Антикоагулянты не использовались.

Активность определения LDH-1 основана на кинетическом методе, рекомендованном Немецким обществом клинической химии (DGKC), заключающемся в измерении скорости изменения коэффициента поглощения, которая прямо пропорциональна активности LDH-1. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cor-HBDH 30), включающие реактивы 1-HBDH и 2-HBDH, которые осторожно смешивали для приготовления рабочего реактива в отношении 4 + 1. Определение активности LDH-1 проводили при температуре 25 °C и длине волны $\lambda = 340$ нм. В ходе исследований использовали метод Sample Star. Для исследования одной пробыготавливался рабочий раствор в объеме 1000 мкл, который подогревался до температуры определения. Затем добавлялся исследуемый материал в объеме 20 мкл. После тщательного перемешивания по истечении 1 минуты отсчитывали коэффициент поглощения относительно воздуха или дистиллированной воды. Измерения повторяли после очередных 1, 2, 3 минут и подсчитывали среднее изменение коэффициента поглощения за минуту. Полученное значение умножали на величину $F = 8095$.

Активность GGT в сыворотке крови определяли на основании кинетической реакции L- γ -глутамил-3-карбокси-4-нитроанилидом. Скорость образования 5-амино-2-нитробензоата, измеряемая колориметрически, прямо пропорциональна активности γ -глутамилтрансферазы. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cor-GGT 30), включающие реактивы 1-GGT и 2-GGT, которые осторожно смешивали для приготовления рабочего реактива в отношении 4 + 1. Определение активности GGT проводили при температуре 25 °C и 37 °C и длине волны $\lambda = 405$ нм. В ходе исследований

использовали метод Sample Star. Для исследования одной пробы приготавливался рабочий раствор в объеме 1000 мкл, который подогревался до температуры определения. Затем добавлялся исследуемый материал в объеме 100 мкл. После тщательного перемешивания по истечении 1 минуты отсчитывали коэффициент поглощения относительно воздуха или дистиллированной воды. Измерения повторяли после очередных 1, 2, 3 минут и подсчитывали среднее изменение коэффициента поглощения за минуту. Полученное значение умножали на величину $F = 1158$.

Активность определения LDH основана на кинетическом методе, рекомендованном Немецким обществом клинической химии (DGKC), заключающемся в измерении скорости изменения коэффициента поглощения, которая прямо пропорциональна активности LDH. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cor-LDH 30), включающие реактивы 1-LDH и 2-LDH, которые осторожно смешивали для приготовления рабочего реактива в отношении 4 + 1. Определение активности LDH проводили при температуре 25 °C и длине волны $\lambda = 340$ нм. В ходе исследований использовали метод Sample Star. Для исследования одной пробы приготавливался рабочий раствор в объеме 1000 мкл, который подогревался до температуры определения. Затем добавлялся исследуемый материал в объеме 20 мкл. После тщательного перемешивания по истечении 1 минуты отсчитывали коэффициент поглощения относительно воздуха или дистиллированной воды. Измерения повторяли после очередных 1, 2, 3 минут и подсчитывали среднее изменение коэффициента поглощения за минуту. Полученное значение умножали на величину $F = 8095$.

Оптимизированный и модифицированный метод определения активности AST основан на рекомендациях Международной федерации клинической химии (IFCC) без активации фосфатом пиридоксала. Скорость изменения коэффициента поглощения прямо пропорциональна активности AST. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cor-ASAT 60), включающие реактивы 1-ASAT и 2-ASAT, которые осторожно смешивали для приготовления рабочего реактива в отношении 4 + 1. Определение активности AST проводили при температуре 25 °C и 37 °C и длине волны $\lambda = 340$ нм. В ходе исследований использовали метод Sample Star. Для исследования одной пробы приготавливался рабочий раствор в объеме 1000 мкл, который подогревался до температуры определения. Затем добавлялся

исследуемый материал в объеме 100 мкл. После тщательного перемешивания по истечении 1 минуты отсчитывали коэффициент поглощения относительно воздуха или дистиллированной воды. Измерения повторяли после очередных 1, 2, 3 минут и подсчитывали среднее изменение коэффициента поглощения за минуту. Полученное значение умножали на величину $F = 1746$.

Активность определения ALP основана на кинетическом методе, рекомендованном Международной клинической федерацией (IFCC). Скорость образования п-нитрофенола измерялась колориметрически и прямо пропорциональна активности ALP. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cog-ALP 30), включающие реактивы 1-ALP и 2-ALP, которые осторожно смешивали для приготовления рабочего реактива в отношении 4 + 1. Определение активности ALP проводили при температуре 25 °C и 37 °C и длине волны $\lambda = 405$ нм. В ходе исследований использовали метод Sample Star. Для исследования одной пробы приготавливался рабочий раствор в объеме 1000 мкл, который подогревался до температуры определения. Затем добавлялся исследуемый материал в объеме 20 мкл. После тщательного перемешивания по истечении 1 минуты отсчитывали коэффициент поглощения относительно воздуха или дистиллированной воды. Измерения повторяли после очередных 1, 2, 3 минут и подсчитывали среднее изменение коэффициента поглощения за минуту. Полученное значение умножали на величину $F = 2764$.

Оптимизированный и модифицированный метод определения активности ALT основан на рекомендациях Международной федерации клинической химии (IFCC) без пиридоксальфосфата. Скорость изменения оптической плотности прямо пропорциональна активности ALT. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cog-ALAT 60), включающие реактивы 1-ALAT и 2-ALAT, которые осторожно смешивали для приготовления рабочего реактива в отношении 4 + 1. Определение активности ALT проводили при температуре 25 °C и 37 °C и длине волны $\lambda = 340$ нм. В ходе исследований использовали метод Sample Star. Для исследования одной пробы приготавливался рабочий раствор в объеме 1000 мкл, который подогревался до температуры определения. Затем добавлялся исследуемый материал в объеме 100 мкл. После тщательного перемешивания по истечении 1 минуты отсчитывали коэффициент поглощения относительно воздуха или дистиллированной воды. Измерения повторяли после очередных 1, 2, 3 минут и подсчитывали среднее изменение ко-

эффициента поглощения за минуту. Полученное значение умножали на величину $F = 1746$.

Метод определения полного белка (TP) основан на биуретовой реакции. Пептидные связи белка в щелочной среде реагируют с ионами меди, образуя окрашенный комплекс. Интенсивность образовавшейся окраски прямо пропорциональна количеству пептидных связей, а тем самым концентрации белка. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cor-TOTAL PROTEIN 60). Определение концентрации TP при температуре 25 °C и 37 °C и длине волны $\lambda = 546$ нм.

Метод определения концентрации альбумина (Alb) основан на образовании с бромкрезоловым зеленым в сукцинатном буфере (в кислой среде) окрашенный комплекс. Абсорбция образовавшегося комплекса, измерялась при длине волны $\lambda = 630$ нм и при температуре 25 °C и 37 °C. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cor-ALBUMIN 60).

Метод определения концентрации полного холестерина (Chol) – колориметрический, энзиматический с эстеразой и оксидазой холестерина. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации холестерина. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cor-CHOL 60). Определение концентрации Chol при температуре 25 °C и 37 °C и длине волны $\lambda = 500$ нм.

Метод определения концентрации неорганического фосфора (Phosphorus) основан на реагировании ионов фосфора с молибдат-ионами в кислой среде с образованием комплекса фосформолибдата. Коэффициент поглощения образовавшегося комплекса измеряется при длине $\lambda = 340$ нм и при температуре 25 °C и 37 °C. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (Liquick Cor-PHOSPHORUS 30).

Для проведения УЗИ-диагностики рыб использовали сканер Mindray DP-6600, который оснащен линейным датчиком с размерами рабочей поверхности 40–60 мм и рабочей частотой 5–10 МГц. Для четкой визуализации гонад рыб необходимо было, чтобы минимальный линейный размер гонад на гистологическом срезе превышал длину ультразвуковой волны минимум в 10–20 раз, в противном случае границы органов были нечеткими или не видны. Отражение большей части звуковых волн происходило в направлении источника звука. Поэтому для получения четкого изображения ультразвуковой пучок

направлялся к исследуемому органу под углом 90 градусов, обеспечивающим максимальное отражение и последующую визуализацию.

Ультразвуковое экспресс-исследование гонад осетровых рыб проводилось во фронтальной (продольной) или поперечной плоскостях. При проведении диагностики датчик плотно прижимался к поверхности тела в районе 3–4-й брюшных жучек, так, чтобы один край датчика находился прямо над жучками. Периодическими наклонами датчика влево-право определялся оптимальный продольный разрез. Далее датчик медленно перемещался в выбранной плоскости в направлении головы.

Оценка подвижности сперматозоидов осетровых рыб в условиях аквакультуры. В качестве объекта исследований была выбрана сперма самцов ленского осетра, выращенных от стадии личинки до половозрелого состояния в условиях установки замкнутого водоснабжения (частное хозяйство «Акватория», фермерское хозяйство «Василек», Дзержинский р-н, Минская обл.). Возраст самцов – 5 лет, средняя масса – 6,3 кг, средняя длина – 92,7 см. Самцов отбирали осенью для возможного использования в воспроизводстве, с гонадами, находящимися в III–IV и IV стадиях зрелости. Осенняя бонитировка самцов проводилась при снижении температуры воды до 12 °С, при которой рыбу обычно прекращали кормить. Для отбора зрелых самцов при осенней бонитировке использовали метод определения стадий зрелости гонад при помощи неинвазивного экспресс-метода УЗИ [8, 236, 237, 253].

Температурный режим во время зимовки самцов составлял 4–5 °С. При этом допускалось кратковременное повышение температуры до 7 °С и ее понижение до 2 °С. Во время весенней бонитировки основным требованием к режиму преднерестового содержания самцов являлось сохранение их репродуктивных качеств. Поскольку самцы обычно готовы к нересту уже при кратковременном выдерживании при нерестовых температурах, наиболее эффективным приемом сохранения их репродуктивных качеств являлось содержание при невысоких температурах. Для стимулирования созревания самцов применяли суперактивный синтетический аналог гонадотропин-релизинг-гормона млекопитающих (GnRHa, сурфагон). Для инъекций использовали медицинские шприцы. Инъекцию производили в спинные мышцы между спинными и боковыми жучками на уровне 3–5 спинной жучки. При введении препарата в мышечные ткани соблюдали осторожность и следили за тем, чтобы рыба при сжатии мышц не вытолкнула препарат. Отбор спермы осуществляли при помощи катетера и пластикового шприца

Жане. Средний объем полученного эякулянта – 110 см³. Температура воды в период взятия половых продуктов составляла 14,5 °С. Вся отобранная сперма оценивалась в 5 баллов по 5-балльной шкале Персова. Для исследования подвижности спермиев пробу разбавляли водой в соотношении 1:20–1:50. Температура воды соответствовала температуре эякулята. Перед получением спермы производители обтирали полотенцем или марлевой салфеткой, особенно тщательно вытирали место у анального отверстия, а также анальный и хвостовой плавники. При этом следили, чтобы в пробирку не попали вода, полостная жидкость или экскременты рыбы. Пробирки со спермой ставили в холодильник или в холодное затененное место.

Подвижность сперматозоидов исследовали на тринокулярном (тип Зидентофа) биологическом микроскопе проходящего света серии MMC-KZ-900 с независимой планхроматической оптической системой на бесконечность $F = 200$ мм. Для анализа подвижности использовали счетные камеры с фиксированной глубиной марки Leja. Запись подвижности сперматозоидов осуществляли при помощи видеокамеры MMC-31C12-M, построенной на основе сенсора компании Aptina. Частота кадров в секунду – 12 к/с при разрешении 2048×1536 , 60 к/с при 800×600 , 95 к/с при 640×480 , 135 к/с при 512×384 . Для исследований качества спермы использовали автоматизированное программное обеспечение MMC Сперм, которое представляло собой основу для компьютерного спермоанализатора (CASA). Оценка концентрации сперматозоидов и анализ их подвижности производился на видеоклипах в формате AVI (захваченных в память компьютера или записанных на жесткий диск), на основе алгоритма анализа с учетом требований руководства Всемирной организации здравоохранения [415].

В качестве анализируемых параметров мы использовали следующие показатели, получившее распространение при исследовании подвижности сперматозоидов человека в медицинских исследованиях [415]: VCL – криволинейная скорость (микрон/с), усредненная по времени скорость движения сперматозоида вдоль его реальной траектории, как она воспринимается в двухмерном пространстве под микроскопом; VSL – прямолинейная скорость (микрон/с), усредненная по времени скорость движения сперматозоида вдоль линии, проведенной между начальной и конечной точкой траектории; VAP – средняя скорость движения по траектории (микрон/с), усредненная по времени скорость движения сперматозоида по усредненной траектории; WOB – колебание (величина, описывающая колебание реальной траектории относительно

усредненной VAP/VCL); LIN – линейность (линейность реальной траектории).

Для исследования подвижности сперматозоидов пробу разбавляли активирующей средой в соотношении 1:50. Состав активирующей среды: 10 мМ NaCl, 1 мМ CaCl₂, 10 мМ Трис pH 8,5 [378]. Для исследований допускались образцы, подвижность которых превышала 90 %. Для предотвращения прилипания сперматозоидов предметные стекла обрабатывались 1%-ным сывороточным альбумином. В каждом видеоклипе оценивалось от 20 до 70 сперматозоидов. Сперматозоиды со скоростью менее 3 мкм/с считались неподвижными и исключались из расчета подвижности [376]. По результатам полученных данных определяют величину стимулирующего действия физических факторов на показатели подвижности сперматозоидов.

Исследование влияния оптического излучения на сперму осетровых рыб. Исследования выполнялись на кафедре ихтиологии и рыбоводства УО БГСХА и в ГНУ «Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси». Производственные исследования выполнялись в рыбном цехе осетрового завода «Акватория», на базе фермерского хозяйства «Василек» (д. Наквасы, Путчинский с/с, Дзержинский р-н, Минская обл.).

В качестве объекта исследований была выбрана сперма самцов гибрида бестера (F₁), выращенных от стадии личинки до половозрелого состояния в условиях установки замкнутого водоснабжения (частное хозяйство «Акватория», фермерское хозяйство «Василек», Минская обл.). Возраст самцов – 5 лет, средняя масса – 6,3 кг, средняя длина – 92,7 см.

Воздействие осуществляли монохроматическим линейно-поляризованным излучением полупроводникового лазера ($\lambda = 670$ нм, красная область спектра, плотность мощности $P = 1,5 \pm 0,2$ Вт/см²) и широкополосным линейно-поляризованным и неполяризованным излучением белого светодиода ($\lambda = 420\text{--}800$ нм, $P = 1,5 \pm 0,2$ мВт/см²). Для поляризации светодиодного излучения на выходе излучателя устанавливали поляроидную пленку.

Сперма осетровых рыб также подвергалась воздействию лазерного излучения в присутствии постоянного магнитного поля. Воздействие осуществляли поляризованным лазерным излучением красной области спектра $\lambda = 670 \pm 20$ нм, плотностью мощности $P = 3,0 \pm 0,2$ мВт/см² в сочетании с магнитным полем индукцией 50 ± 5 мТл. Излучатель аппарата с магнитной насадкой располагали таким образом, чтобы спер-

ма рыб находилась под проекцией магнитной насадки, а размер светового пятна соответствовал размеру слоя облучаемой спермы. При этом излучение лазера проходило через отверстие, расположенное в центре магнитной насадки. Мощность излучения (W) на выходе излучателя контролировали с помощью измерителя средней мощности ИМО-3С. Плотность мощности (в мВт/см²) излучения, воздействующего на слой спермы, определяли по формуле: $P = W/S$, где W – средняя мощность излучения в мВт; S – площадь светового пятна (в см²) на уровне слоя спермы.

Затем проводили аналогичный эксперимент при выключенном лазерном излучении, когда на сперму воздействовало только магнитное поле.

Следующую серию экспериментальных исследований проводили для изучения воздействия на сперму лазерного излучения в отсутствии магнитного поля. С этой целью из лазерного излучателя извлекалась магнитная насадка и вставлялась расфокусирующая насадка, обеспечивающая аналогичную расходимость лазерного излучения, как и в случае использования магнитной насадки.

При исследовании влияния оптического излучения различной частоты импульсов на сперматозоиды осетровых рыб в качестве источника излучения использовали Nd: YAG-лазер (длина волны – 532 нм, средняя выходная мощность ~ 30 мВт), работающий в непрерывном и квазинепрерывном режимах (частота повторения импульсов – $F = 1$ кГц, длительность импульса – $\tau = 100$ нс), а также в импульсном режиме с генерацией наносекундных ($\tau = 15$ нс, $F = 10$ Гц) и пикосекундных ($\tau = 60$ пс, $F = 20$ Гц) импульсов. Плотность мощности $P = 3,0$ мВт / см².

При исследовании влияния частоты модуляции на сперматозоиды осетровых рыб в качестве источника излучения использовали модулированное по интенсивности поляризованное излучение лазерных или светодиодных источников в спектральном диапазоне от 450 до 1270 нм, плотностью мощности $P = 0,5$ –100 мВт/см², частотой модуляции $F = 5$ –100 Гц.

Плотность мощности (P , мВт/см²) излучения, воздействующего на слой спермы, определяли по формуле: $P = W/S$, где W – средняя мощность излучения в мВт; S – площадь светового пятна в см² на уровне слоя спермы. Энергетическую дозу (E , мДж/см²) определяли по формуле: $E = P \cdot t$, где t – время облучения в секундах.

После воздействия различных физических факторов сперма помещалась на хранение в прохладное затемненное место. Температура хранения была не более 4–5 °С.

По истечении 24 часов проводили исследование параметров подвижности сперматозоидов, описанных выше.

По результатам полученных данных определяли величину стимулирующего действия физических факторов на подвижность сперматозоидов: $\gamma = (t_o/t_k) \cdot 100 \%$, где t_o – величина параметра подвижности сперматозоида после активации водой через 24 часа хранения после воздействия физических факторов (опытная группа), t_k – величина параметра подвижности сперматозоида после активации водой через 24 часа хранения без воздействия оптического излучения (контрольная группа).

Исследование влияния оптического излучения низкой интенсивности на производителей осетровых рыб. Экспериментальные исследования проведены в 2008 г. на осетровом заводе «Акватория» на базе фермерского хозяйства «Василек» Дзержинского района. Производителей в период начала подъема температуры воды на нерестовый режим, за 1–2 недели до предполагаемого нереста, подвергали воздействию излучения полупроводникового лазера красной или инфракрасной области спектра. Воздействие осуществляли с помощью терапевтических полупроводниковых лазерных аппаратов «Айболит» ($\lambda = 670$ нм, площадь светового пятна $S = 0,2 \text{ см}^2$, $P = 45 \text{ мВт/см}^2$) и «Сенс 815» ($\lambda = 810$ нм, площадь светового пятна $S = 0,2 \text{ см}^2$, $P = 125 \text{ мВт/см}^2$) на жаберные лепестки производителей в течение 5 минут под каждую жаберную крышку. Курс облучения – 5 дней. После процедуры облучения через 4–7 дней производителей выводили на нерестовую температуру (14–16 °С). Средняя масса контрольных и опытных групп составила $2,5 \pm 0,3$ кг (самки) и $2,0 \pm 0,1$ кг (самцы). Коэффициент поляризации при весенней биопсии – $10,0 \pm 1,0$. Самки и самцы – 2002 г. рождения (весна).

Биопсию гонад проводили щуповым методом. Готовность ооцитов к овуляции и оплодотворению определяли по положению ядра. Для стимулирования созревания производителей в зависимости от сроков нереста применяли ацетонировый гипофиз осетровых рыб (АГП) и суперактивный аналог гонадропин-релизинг-гормона GnRHa «Сурфагон». Получение овулированной икры осуществляли методом подрезания яйцеводов [142, 169]. Отбор спермы производили при помощи катетера и шприца Жане [190]. Оплодотворение «полусухое».

В качестве обесклеивающего вещества применяли танин. Инкубация проводилась в аппаратах Вейса. Взятие проб крови осуществляли из хвостовой вены.

Исследования содержания половых гормонов в сыворотке крови проводили в лаборатории прикладной эндокринологии, ветеринарии и биотехнологии УО БГСХА. Исследования выполнялись с применением тестов ImmunoLISA на микропланшетном фотометре «Muklisan Ascent»; для инкубирования и встряхивания анализируемых субстанций в микропланшетах использовали инкубатор-встряхиватель iEMS; для промывания лунок в стандартном микропланшете (12×8) – промыватель «Wellwash 4 MK 2».

Исследование методики повторного получения икры от осетровых рыб в Беларуси. Работа выполнялась в рыбном цеху частного предприятия «Акватория» на базе фермерского хозяйства «Василек» (Дзержинский р-н, Минская обл.). Данный цех работает по принципу УЗВ.

Кроме производителей *A. gueldenstaedti*, в хозяйстве имеются маточные стада *A. baeri*, гибридов бестера (F_1 и F_2), С.БС и РОхЛЮ.

Для получения цельной (стабилизированной) крови в пробирки вносились по 1–2 капли раствора гепарина. В ходе морфофизиологических исследований в цельной крови определяли следующие показатели: содержание гемоглобина, общее число эритроцитов, гематокритную величину.

Содержание гемоглобина и общее число эритроцитов определяли методом фотоэлектроколориметрии на эритрогеметре. Гематокритную величину определяли по методу Гедина: капилляры со стабилизированной кровью центрифугировались на 5000–6000 об/мин, в течение 9 минут. Затем при помощи миллиметровой линейки проводили отсчет объема эритроцитов и плазмы.

Исследования морфологического строения костных пластинок осетровых рыб. Исследования выполнялись на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства и рыбоводного индустриального комплекса Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (г. Горки, Могилевская область, Республика Беларусь) в период 2012–2016 гг. Указанный рыбоводный индустриальный комплекс работает по технологии замкнутого водоснабжения (УЗВ), с использованием механической и биологической фильтрации, озонирования и оксигенации воды. Средняя температура воды составила 16 °С с короткими колебаниями ±2 °С в течение года. Зимовка стерляди не проводилась. Для кормле-

ния стерляди применяли высокобелковые корма Sorpens с учетом рекомендаций указанной фирмы.

В исследованиях использовали разновозрастную стерлядь волжской популяции: взрослые особи (возраст 3 года, средняя длина $61,2 \pm 1,3$ см); молодь (возраст 1 год, средняя длина $24,8 \pm 1,5$ см), личинка (возраст 3 месяца, средняя длина $70,3 \pm 3,6$ мм) и разновозрастного сибирского осетра ленской популяции: взрослые особи (возраст 3 года, средняя длина $73,2 \pm 2,7$ см); молодь (возраст 1 год, средняя длина $34,8 \pm 1,9$ см), личинка (возраст 3 месяца, средняя длина $11,5 \pm 4,2$ мм).

Статистически достоверных отличий между длиной у исследуемой стерляди не наблюдалось. Для исследований взрослой стерляди отбирались экземпляры с гонадами на второй стадии зрелости по классификации Трусова.

Наблюдение за стерлядью осуществлялось с трехмесячного возраста с дальнейшим наблюдением в возрасте 1 года и с подтверждением пола в возрасте 2 года. Наблюдаемых особей метили индивидуально с возраста 3 месяцев, что позволяло в дальнейшем после подтверждения пола в 2 года установить пол в возрасте 3 месяцев и 1 года.

Для определения пола у стерляди использовали метод УЗИ-диагностики на портативном ветеринарном сканере MindrayDP-6600 с последующей визуальной проверкой гонад у умерщвленных особей. В сложных случаях образцы гонад отправлялись на гистологические исследования. УЗИ-диагностика осуществлялась автором исследований, имеющим подтверждающий сертификат об обучении и опыт работы с данным методом более 5 лет (более 15 000 просмотренных осетровых рыб).

Умерщвление рыбы осуществлялось с соблюдением принципов гуманного отношения к животным. Все умерщвленные экземпляры взрослой стерляди предназначались для убоя в товарных целях. У умерщвленных экземпляров срезался слой спинных костных пластинок (жучек) от головы до начала спинного плавника. Первая спинная пластинка, плотно прилегающая к костным пластинкам черепа, не срезалась по причине сложности ее быстрого извлечения без деформации. В исследовании учитывались спинные пластинки от второй (начиная от головы, в наших исследованиях имеющая первый номер) до последней крупной пластинки перед спинным плавником или lsdr (last scute of dorsal row), имеющий вид так называемого копыя. Мелкие костные пластинки после lsdr во внимание не принимались. После сре-

зания спинные костные пластинки подвергались варке, чистке, мойке и фотографированию на камеру Canon EOS 500D в режиме макросъемки.

Полученные изображения подвергались измерению в программе ImageJ с использованием инструментов «Straight Line», «Polygon selections», «Elliptical selections» при помощи графического планшета Trust Canvas Widescreen Tablet. В процессе изучения спинных костных пластинок измерялись следующие параметры: длина спинной костной пластинки; ширина спинной костной пластинки; длина левой и правой лопасти; площадь спинной костной пластинки; площадь условного круга, в который помещалась спинная костная пластинка; длина максимального зубца спинной костной пластинки; ширина основания максимального зубца; количество зубцов. Диаметр условного круга, в который помещалась спинная костная пластинка, равнялся ее ширине или длине, в зависимости от удаления костной пластинки от головы (или ее номера). Спинные костные пластинки между № 10 и 1sdr не учитывались, так как их количество сильно варьировало у всех исследуемых экземпляров вне зависимости от пола.

На основании полученных измерений рассчитывались следующие коэффициенты: «коэффициент Ш/Д» – отношение ширины спинной костной пластинки к ее длине; «усредненный коэффициент Дл/Д» – среднее отношение длины левой и правой лопасти спинной костной пластинки к ее общей длине; «коэффициент заполнения» – отношение площади спинной костной пластинки к площади условного круга, в который она помещалась; «коэффициент Дз/Ш» – отношение длины максимального зубца к ширине спинной костной пластинки; «коэффициент Дз/Шз» – отношение длины максимального зубца к ширине основания максимального зубца.

Мониторинг биологической очистки в установках замкнутого водоснабжения. Для определения степени очистки воды брались пробы до очистки и после очистки, по возможности пробы брались и во время очистки. Исследование проводилось с применением фотометрического метода определения массовых концентраций минеральных азотсодержащих веществ: аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов, нитратов, с помощью спектрофотометра ПЭ-3000УФ по ГОСТ 4192-82 в лаборатории рыбоводника УО БГСХА.

Объем пробы воды для определения массовой концентрации аммиака и ионов аммония, нитритов был по ГОСТу 24481 не менее 500 см³.

Объем пробы воды для определения массовой концентрации нитратов – по ГОСТу 18826 (не менее 200 см³).

Пробы воды не консервировались, хранились меньше суток при температуре 3–4 °С

Массовую концентрацию нитратов определяют по ГОСТу 18826. Для определения нитратов применялся колориметрический метод с салициловокислым натрием.

В рыбопитомнике УО БГСХА проводился мониторинг степени очистки воды с применением фотометрического метода. Определялись массовые концентрации минеральных азотсодержащих веществ: аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов.

Для мониторинга были взяты пробы из цехов № 2, 3 и 4.

Пробы брались на следующих участках:

- до очистки;
- после очистки;
- из бассейнов.

Взятие проб происходило 17.04.2016 г., время взятия – 8:00, 12:00, 15:00 и 17:00.

Для сравнения интенсивности очистки были взяты пробы в следующих хозяйствах:

- 1) «Фирма Ремона» (осетровое хозяйство в г. Могилеве);
- 2) фермерское хозяйство «Василек» в д. Наквасы (Минская обл., Дзержинский р-н);
- 3) осетровое хозяйство ДГ-Центра *Admiral husso* (г. Фаниполь);
- 4) рыбоводный индустриальный комплекс УО БГСХА (г. Горки).

Очистка воды проводилась с применением фотометрического метода. Определялись массовые концентрации минеральных азотсодержащих веществ: аммиака и ионов аммония (суммарно), нитритов и нитратов.

Пробы брались на следующих участках:

- до очистки;
- во время очистки;
- после очистки.

Статистический анализ. Для статистической обработки использовали компьютерные статистические пакеты STATISTICA 8, BioStat 2009, OriginPro 8, Stat Plus 2007, а также программную среду R [345], включая пакеты R Commander [278], PMCMR [340], MASS [409], corplot [413], randomForest [313], randomForestExplainer [332], ggplot2 [416], circlize [239], reshape2 [416], caret [234], vegan [408], rpart.plot

[320], party [294], Boruta [312], neuralnet [280], а также программную среду Circos [240]. Для определения уровня статистической достоверности использовали параметрические тесты: тест Стьюдента (только для двух исследуемых групп) и тест Тьюки (для трех и более исследуемых групп). Параметрические тесты использовали при условии соблюдения нормальности распределения данных (квантильный график, тест Шапиро-Уилка) и однородности групповых дисперсий (тест Ливина). При несоблюдении указанных условий использовали непараметрические тесты: U-критерий Манна – Уитни (для двух исследуемых групп) и тест Ньюмена (для трех и более исследуемых групп). Для выявления наличия линейной зависимости между несколькими предикторами (переменными) использовали метод мультиколлинеарности, который заключался в построении и анализе корреляционной матрицы. Для оценки качественных признаков использовали критерий χ^2 («хи-квадрат») [283, 291, 421, 422].

4. НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ РЫБОПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ЦЕННЫХ ВИДОВ РЫБ

В Республике Беларусь имеются предприятия, на которых в перспективе возможно развитие товарного осетроводства по следующим технологиям: а) выращивание осетровых и их гибридов в обычных рыбоводных прудах, в моно- или поликультуре с другими рыбами на естественных кормах или при подкормке комбикормами [105]; б) интенсивное выращивание осетровых в небольших специализированных прудах, садках или бассейнах с высоким водообменом, с применением искусственных кормов, а также с естественным термическим режимом [105, 115]; в) высокоинтенсивное круглогодичное выращивание осетровых и их гибридов в УЗВ при полном мониторинге абиотических факторов на примере действующих установок Германии, Италии, Франции, Дании, США и России [146, 166, 168, 183, 383]. Во всех вариантах технологии выращивания необходимо предварительное получение и подращивание рыбопосадочного материала до массы не менее 2–5 г [105], т. е. необходимо разрабатывать технологию получения и подращивания высококачественной молоди осетровых рыб.

Аквакультура осетровых рыб – сложный технологический процесс, включающий в себя искусственное воспроизводство (отбор производителей, биопсия гонад, преднерестовое выдерживание, вывод на нерестовые температуры, гормональная стимуляция нереста, получение овулированной икры, обесклеивание и инкубация икры), подращивание молоди (выдерживание предличинок, перевод на активное питание, кормление искусственными кормами) и товарное выращивание [190]. В этой технологической цепочке традиционно слабым звеном является этап получения личинок и молоди осетровых рыб, что объясняется низкой устойчивостью организма в этот период. Поэтому исследования, посвященные изучению раннего онтогенеза гидробионтов в условиях аквакультуры, направленные на разработку методики стимулирования развития, имеют большое научно-практическое значение.

Ежегодное пополнение молодью и само существование популяций осетровых целиком зависят от эффективности работы по подращиванию рыбопосадочного материала.

Для повышения эффективности заводского воспроизводства осетровых в рыбоводных хозяйствах в существующую биотехнику вносят

коренные изменения. Проводятся мероприятия по сокращению количества и рациональному использованию производителей, снижению потерь на всех этапах биотехнического процесса, повышению жизнестойкости выпускаемого посадочного материала [21, 154].

По данным R. Kolman [309], выращивание рыб на самых ранних стадиях развития в контролируемых условиях среды имеет несомненные преимущества по сравнению с традиционными методами выращивания, а именно: позволяет достичь более высоких значений показателей темпа роста, выживаемости и упитанности.

Исследования, посвященные изучению эмбрионального и постэмбрионального развития рыб в природных условиях и в аквакультуре, имеют важное научно-практическое значение [95]. В литературе имеется большой объем данных, посвященных морфофункциональным и биохимическим особенностям раннего онтогенеза гидробионтов [3, 59], в том числе и осетровых рыб [51, 60].

Исследования Т. А. Детлаф, А. С. Гинзбург, О. И. Шмальгаузен [155] внесли огромный научный вклад в изучение морфогенеза на различных стадиях индивидуального развития рыб и тем самым расширили возможности эффективного воспроизводства различных видов гидробионтов.

Изучение специфики раннего онтогенеза осетровых рыб как периода, где взаимодействие внутренних закономерностей развития с лимитирующими факторами среды имеет решающее значение для жизнестойкости рыб, актуально не только в теоретическом, но и в практическом плане [227, 243].

По данным Е. А. Федосеевой и С. С. Астафьевой [186], проблемой товарного осетроводства является получение жизнеспособной молоди для товарного осетроводства и адаптация ее к искусственным условиям содержания. Однако интенсивное выращивание молоди неизбежно ведет к существенному изменению условий содержания, увеличению стрессовых нагрузок на организм рыб и, как следствие, ухудшению их физиологического состояния. Особенно напряженные условия складываются в УЗВ. Поэтому в первоочередную задачу исследователей входит разработка методик и способов, позволяющих максимально увеличить качество и эффективность технологии получения и выращивания молоди рыб.

Таким образом, в условиях глобального падения уловов, а местами и полного истребления осетровых аквакультура призвана способствовать восстановлению природных популяций этих ценных видов рыб во

многих странах мира, в том числе и в Беларуси, а также удовлетворить ежегодно растущий спрос, снижая пресс на природные ресурсы.

Наиболее ответственным моментом в технологии осетроводства является получение и выращивание жизнестойкого рыбопосадочного материала, поэтому актуальны исследования, направленные на повышение эффективности работ по подращиванию молоди.

По данным В. J. Sanders et al. [252], современная аквакультура достигла такого уровня, когда ей остро стали необходимы методики максимального увеличения объемов производства. При этом в условиях постиндустриального развития создание конкурентоспособной промышленности во многом определяется эффективностью применения в производстве инновационных как отечественных, так и зарубежных разработок. Особенно это важно в аквакультуре как в секторе сельского хозяйства, основное производство которого значительно уступает уровню научно-технических разработок.

Следует обратить внимание на инновации, так как они связаны с внедрением в производственный процесс новых технических средств аквакультуры (оборудования и приборов), обеспечивающих решение производственной и социальной задач: оптимизации производственных процессов и снижения уровня ручного труда [24].

Одной из таких технических инноваций является низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) и оптическое излучение.

4.1. Низкоинтенсивное оптическое излучение: основные свойства и взаимодействие с биологическими системами

Стимулирующие эффекты световых источников естественного (Солнце, Луна) и искусственного происхождения известны давно. Еще в 1903 г. Нобелевской премией были отмечены работы датского врача Нильса Финзена, посвященные медицинскому применению красного света и ультрафиолета для лечения оспы и волчанки. Настоящий подъем, привлечший большую группу исследователей, наступил после создания лазеров, оказавшихся удобными источниками монохроматического излучения [57, 331].

Первые результаты, свидетельствующие о биологическом стимулирующем действии НИЛИ, относятся к концу 60-х – началу 70-х гг. XX ст., которые были получены с использованием гелий-неонового лазера ($\lambda = 632,8$ нм), в то время одного из немногих промышленно выпускаемых лазеров [72, 318].

Первое официальное разрешение на применение лазера в клинической практике (He-Ne лазер) было получено в 1974 г. И. М. Корочкиным и сотрудниками, удостоенными впоследствии (в 1984 г.) Государственной премии СССР за разработку лазерного метода лечения ишемической болезни сердца [149]. За прошедшие 35 лет НИЛИ получило широкое развитие и заняло особое место (например, в медицине) в ряду применявшихся до этого в практике лечебных физических факторов. Вместе с тем бурное развитие лазерной техники, обеспечивающей получение излучения в широком диапазоне длин волн, интенсивностей и режимов воздействия, открывает новые горизонты для исследователей [209].

Лазерное излучение – разновидность неионизирующего электромагнитного излучения, характеризующегося когерентностью, поляризованностью, монохроматичностью. Лазеры генерируют электромагнитное излучение в различных участках спектрального диапазона – от ультрафиолетового до инфракрасного. Мощность лазерных установок колеблется от долей милливатт до сотен мегаватт [200, 209].

Лазерная аппаратура, лазерные приборы, установки, системы стали сегодня неотъемлемым элементом технической инфраструктуры всех индустриально развитых стран. Создание лазерной техники стало отраслью индустрии, весьма заметным сектором мирового рынка наукоемкой продукции.

Лазерное излучение прочно вошло в арсенал современной медицины всех промышленно развитых стран мира благодаря таким положительным качествам, как [209]: а) высокая терапевтическая эффективность и широкий спектр показаний к применению метода, включая лечение хронических и дегенеративно-дистрофических заболеваний, когда только лекарственная терапия является недостаточно эффективной; б) отсутствие (в подавляющем большинстве) побочных эффектов, свойственных многим фармпрепаратам; в) возможность применения низкоинтенсивной лазерной терапии в комплексе с медикаментозной терапией и другими физиотерапевтическими факторами; доступность аппаратуры.

В настоящее время лазерное излучение применяют в кардиологии, пульмонологии, гастроэнтерологии и других областях медицины с целью облучения крови и суставов при ревматоидном артрите; лечения мужского бесплодия, глазных болезней, включая глаукому, дисфункции мочевого пузыря, ишемической болезни сердца, кожных болезней и болезней крови, осложнений при хирургических травмах; при лече-

нии тяжелой и крайне тяжелой хронической обструктивной болезни легких, в комплексной терапии хронического пародонтита и др. [36, 67, 108, 118, 151, 194].

Основными техническими характеристиками лазерной терапевтической аппаратуры являются интенсивность, спектральный диапазон, длительность экспозиции, средняя мощность, режимы воздействия, а также типы источников излучения.

В отличие от высокоинтенсивного лазерного излучения, которое вызывает испарение и коагуляцию облучаемых тканей, низкоинтенсивное лазерное излучение (менее 100 мВт/см^2), не вызывая выраженных изменений морфологической структуры тканей и не изменяющее внутримолекулярные связи, влияет на энергетический потенциал молекул и на кинетику биохимических процессов [83, 331, 384].

Особенностью биологического действия электромагнитного излучения оптического диапазона является ярко выраженная зависимость биологического эффекта от длины волны излучения. Меняя длину волны, можно избирательно запускать те или иные фотобиологические процессы [147]. В настоящее время наиболее широкое применение в клинической практике нашли лазерные терапевтические аппараты с длиной волны $\lambda = 670, 780, 830, 880 \text{ нм}$ (непрерывный режим), а также с $\lambda = 890$ и 904 нм (импульсный режим) [209].

По данным V. Y. Plavskii et al. [209], одной из причин такого приоритета указанных длин волн является их соответствие так называемому «окну прозрачности» биологических тканей, чем обеспечивается наибольшая глубина проникновения излучения в ткань [251].

Эффективность НИЛИ зависит от длительности экспозиции. Например, по данным В. К. Казимирко и Н. Н. Клодченко [75], облучение продолжительностью 10 мин способствует улучшению метаболизма и росту функциональной активности нейтрофилов «*in vivo*» и «*in vitro*», а более длительная экспозиция снижает функциональные возможности клеток.

По данным И. М. Байбекова и М. И. Байбековой [7], 60-минутное внутривенное лазерное облучение крови вызывает необратимые изменения: отслоение эндотелиоцитов от базальной мембраны и их десквамацию.

Следует отметить, что первые лазеры, допущенные Министерством здравоохранения к использованию в клинической практике, работали в непрерывном режиме и характеризовались средней мощностью 2–15 мВт. Однако по мере развития лазерных медицинских технологий, а

также появления на лазерном рынке доступных и надежных полупроводниковых лазеров красной и ближней инфракрасной областей спектра все больший интерес со стороны специалистов начал проявляться к лазерным источникам мощностью 20–50 мВт, а затем и 100–500 мВт. Заслуживает быть отмеченным тот факт, что еще 5–6 лет тому назад терапевтическая аппаратура с мощностью излучения на выходе 500 мВт практически не производилась и магнитолазерный аппарат «Сенс» (совместная разработка Института физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси и ПК «Люзар») был одним из первых в данном классе терапевтических аппаратов [209].

Современные лазерные терапевтические аппараты как западного, так и отечественного производства обеспечивают возможность воздействия лазерным излучением в непрерывном, модулированном и импульсном режимах [164].

Как было сказано выше, первые результаты, свидетельствующие о биологическом стимулирующем действии НИЛИ были получены с использованием гелий-неонового лазера ($\lambda = 632,8$ нм). В настоящее время лазеры данного типа в новых разработках НИЛИ практически не используются, так как по совокупности своих медико-технических характеристик значительно уступают лазерным диодам (LD).

К достоинства LD следует отнести [209]: а) возможность выбора длин волн в широком диапазоне; б) компактность; в) отсутствие высокого напряжения в источниках питания; г) легко реализуемая возможность создания аппаратуры, не требующая заземления; д) малая потребляемая мощность (что делает возможным работу от встроенного автономного источника питания – малогабаритных аккумуляторов); е) легко реализуемая возможность изменения воздействующих параметров; ж) надежность и долговечность; з) сравнительно низкая цена и коммерческая доступность.

Литература по вопросам влияния лазерного излучения на различные биообъекты насчитывает к настоящему времени более 10^4 публикаций. Наиболее острой темой дискуссий неизменно остаются первичные механизмы наблюдаемых феноменов [174].

Рассмотрим наиболее вероятные из обсуждавшихся в литературе первичных (физико-химических) эффектов действия НИЛИ на биообъекты.

1. Согласно фотоакцепторной гипотезе, предполагается, что лазерное излучение активизирует некоторые ферменты-акцепторы, спектр поглощения которых совпадает с его энергетическим спектром. Счи-

тают, что такими акцепторами являются каталаза [61], супероксиддисмутаза [279], НАДФН-дисмутаза, протопорфирин [41], а также фермент дыхательной цепи – цитохром-с-оксидаза [78]. Так, например, была высказана гипотеза, что облучение приводит к ускорению переноса электронов в дыхательные цепи благодаря изменению в редокс-свойствах ее компонентов при фотовозбуждении их электронных состояний. В связи с изменяющимися в редокс-состояниях хромофора Cu_B , являющегося частью каталитического центра цитохром-с-оксидазы, предполагается, что вследствие облучения уменьшается количество связанного в каталитическом центре NO [78]. В физиологических условиях NO служит модулятором (ингибитором) активности цитохром-с-оксидазы и связывается именно с хромофором Cu_B [232]. В условиях патологии увеличивается выделение NO [302] и, соответственно, вероятность ингибирования цитохром-с-оксидазы повышается. В таких условиях увеличение дыхательной активности клетки вследствие облучения может играть важную роль с точки зрения ожидаемых положительных результатов НИЛИ [78].

С учетом того что фотоакцепторы – активные участники различных процессов в организме, их взаимодействие с лазерным излучением, сопровождающееся различными структурно-функциональными изменениями, может приводить к многообразным эффектам на уровне целостного организма – стимуляции биоэнергетических процессов, повышению мощности систем адаптации [184].

2. С. Д. Захаров с соавторами большую роль в механизмах действия НИЛИ отводит генерации активных форм кислорода (АФК), которые индуцируют окислительные процессы [69, 172].

Действие АФК зависит от их концентрации. Положительный эффект наблюдается при образовании небольших количеств АФК, что имеет место при малых дозировках лазерного облучения с определенной длиной волны. Основные эффекты, вызываемые генерацией АФК: стимуляция пролиферации и других функций клеток, увеличение внутриклеточного уровня Ca^{++} , активация окислительно-восстановительных реакций, синтеза АТФ, ДНК и др. [184].

3. Очень многие стороны стимулирующего действия лазерного излучения могут быть объяснены с позиции вызываемых им конформационных изменений биополимеров (белки, липиды, мембраны и ферменты) [173, 341, 385]. Это обусловлено тем, что конформация (пространственная структура) и конформационные перестройки биополимеров лежат в основе регуляции обменных процессов и молекулярных

механизмов рецепции, транспорта, зрения, мышечного сокращения [184].

Фотофизический механизм изменений пространственной структуры компонентов клетки с жидкокристаллическим характером упорядочения, ответственных за регуляцию метаболических процессов (макромолекул ферментов, мембран), может заключаться в переориентации отдельных высокоупорядоченных анизотропных участков (доменов) указанных компонентов в результате взаимодействия электрического поля световой волны с индуцированным (этой волной) интегральным электрическим диполем домена. Указанный механизм представляет собой оптический эффект Керра и должен наблюдаться для молекул, характеризующихся анизотропией поляризуемости [344].

Изменение конформации биомолекул может сказываться на активности ферментов биохимических реакций, транспорте питательных веществ, образовании свободных форм веществ, что может объяснить многие стороны стимулирующего действия НИЛИ [184].

Изменение конформации возможно под действием внешнего электромагнитного излучения (ЭМИ). В случае, когда ЭМИ попадает в полосу сильного поглощения молекул человеческого организма и поглощение это значительное, оно может вызвать «денатурированный переход», поэтому гамма-излучение, рентген, УФ-терапии, СВЧ-физиотерапия и лечение синим светом весьма критично к дозе и может вызвать нежелательную деструкцию тканей, например ожог. Напротив, низкоинтенсивное излучение, попадающее в полосу слабого поглощения молекул, не может привести к деструкции, перегреву, разрушению биообъекта, но в то же время вызывает функциональные переходы, которые очень сильно влияют на деятельность живой клетки. В таком диапазоне работают низкоинтенсивные источники ЭМИ, используемые в лазерной терапии [192].

4. По данным А. Н. Рубинова и А. А. Афанасьева [159], из нерезонансных механизмов поглощения и действия лазерного излучения наибольшего внимания заслуживает механизм, обусловленный действием градиентных сил на биологические органеллы, клетки и другие образования микронных размеров вследствие формирования лазерным излучением спекл-структуры за счет интерференции падающего луча с отраженными и рассеянными (на неоднородностях ткани) лучами.

В результате нерезонансного дипольного взаимодействия электрической компоненты света со светоиндуцированным дипольным мо-

ментом биологических микрочастиц возникают градиентные силы, способные оказывать биологическое действие.

Результаты многочисленных исследований показывают, что ни одна из существующих гипотез не раскрывает полностью механизма возникновения биологической реакции на лазерное излучение, а лишь демонстрирует различные стороны общего ответа организма на разных уровнях его реализации.

Многие предположения о первичных механизмах действия НИЛИ еще недостаточно подтверждены, даже в условиях *in vitro*, что указывает на необходимость и перспективность дальнейших исследований в этом направлении.

Таким образом, лазерные технологии стали сегодня неотъемлемым элементом технической инфраструктуры, а НИЛИ вошло в арсенал современной медицины всех промышленно развитых стран мира как лечебное и терапевтическое средство. Перспективными являются исследования, посвященные применению НИЛИ в сельском хозяйстве, в том числе в животноводстве.

4.2. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в животноводстве

Первые исследования по использованию НИЛИ в животноводстве были выполнены более 30 лет назад Н. В. Михайловой и др. [114], в ходе которых был сделан вывод, что облучение куриных яиц светом гелий-неонового лазера с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм положительно влияет на показатели вывода и жизнеспособность цыплят.

Дальнейшие исследования Б. Ф. Бессарабова и Е. Б. Петрова [22] установили ускоренное развитие эмбриогенеза, повышение уровня гемоглобина крови и показателей естественной резистентности молодняка цыплят, которые подвергались воздействию лазерного облучения на ранних стадиях эмбрионального развития.

Исследования В. П. Иноземова и др. [70, 127] в области использования НИЛИ в ветеринарии установили высокую эффективность метода лазерной терапии при артритах у лошадей и крупного рогатого скота, при лечении хронического и субклинического маститов у КРС по сравнению с медикаментозным.

Е. Ю. Смертина и др. [163] установили, что инфракрасное ($\lambda = 940$ нм) и красное ($\lambda = 660$ нм) оптическое излучение при частотах модуляции 0, 5, 50, 100, 250, 500, 1000, 3000, 5000, 25000 Гц оказывает

антимикробное действие в виде снижения скорости роста культуры золотистого стафилококка, повышает естественную резистентность организма больных коров, обеспечивает выздоровление коров без медикаментозного вмешательства при асептическом и субклиническом маститах.

В работе Т. Н. Болтушкиной и Д. В. Шестакова [26] по изучению применения НИЛИ инфракрасной области спектра с длиной волны $\lambda = 0,89\text{--}0,99$ мкм было установлено увеличение живой массы телят, подвергнутых воздействию лазерного излучения, по сравнению с контрольной группой. Указанный эффект автор объясняет увеличением количества инфузорий в рубцовой жидкости животных, подвергнутых излучению.

По данным А. А. Музыка с соавторами [152], воздействие НИЛИ инфракрасной области спектра в сочетании с магнитным полем в раннем постнатальном онтогенезе на биологические активные точки (БАТ) телят способствует повышению уровня естественной резистентности и скорости роста.

По данным А. Ф. Трофимова с соавторами [73], стимуляция БАТ вымени при раздое первотелок НИЛИ ИК области спектра с длиной волны $\lambda = 0,89 \pm 0,02$ мкм в сочетании с магнитным полем приводила к увеличению молочной продуктивности первотелок, опытные группы оказались лучше подготовлены к интенсивной секреции молока, что повышало эффективность технологиями раздоя первотелок. Кроме того, указанный физический фактор оказывал влияние на длительность латентного периода рефлекса молокоотдачи. Похожие результаты регистрировали при воздействии НИЛИ красной области спектра ($\lambda = 0,67 \pm 0,02$ мкм) в сочетании с магнитным полем.

По данным Д. В. Малашко [100], облучение вымени коров комбинированным многоцветным НИЛИ в красном ($\lambda = 0,67 \pm 0,02$ мкм) и синем ($\lambda = 0,47 \pm 0,03$ мкм) спектральном диапазонах в сочетании с постоянным магнитным полем контактно-компрессионным методом сканирования при субклиническом мастите вызывает на 2–3-й день интенсивное снижение соматических клеток в молоке с восстановлением функции молочной железы на 4,5–5,5-й день сканирования.

По данным А. Ф. Трофимова с соавторами [73], воздействие НИЛИ красной области спектра ($\lambda = 0,67 \pm 0,02$ мкм) на длиннейшие мышцы поясницы и груди значительно повышало живую массу и среднесуточный прирост поросят. Кроме того, авторы отмечают увеличение в

опытной группе содержания гемоглобина, эритроцитов и общего белка в крови по сравнению с контрольными значениями.

В. В. Малашко с соавторами [117] указывают на способность НИЛИ красной области спектра ($\lambda = 0,67 \pm 0,02$ мкм) при облучении длиннейшей мышцы спины стимулировать морфогенетические и метаболические процессы в соматической мускулатуре, при этом наблюдалось увеличение объема саркоплазмы и массы сократительных структур – миофибрилл.

Таким образом, применение НИЛИ в животноводстве и ветеринарии способно существенно повысить эффективность технологии птицеводства, свиноводства и крупного животноводства за счет улучшения хозяйственно полезных признаков животных. При этом перспективными являются исследования, посвященные применению НИЛИ в отрасли животноводства, а именно в рыбоводстве.

В настоящее время все больший интерес исследователей проявляется к возможности коррекции и стимулирования роста и развития гидробионтов при помощи различных физических факторов, особенно в условиях аквакультуры.

Так, целым рядом исследователей отмечена возможность при помощи света и различных режимов и способов освещения оказывать стимулирующее действие на рыбоводно-биологические показатели различных видов рыб [395]. В исследованиях А. Б. Ручина [357, 358, 359], в которых изучалось влияние фотопериода на рост, физиологические и гематологические показатели сибирского осетра (*A. baeri*), указывается, что максимальная скорость роста молоди наблюдалась при 12-, 16- и 24-часовом световом дне. Это происходило на фоне усиления интенсивности дыхания, повышения суммарного потребления и конвертирования пищи. Круглосуточное затемнение вызывало достоверное снижение указанных показателей. В оптимальных режимах фотопериода гематологические показатели находились в норме. При отсутствии света наблюдались четко выраженные нейтрофилия и лейкопения. В оптимальных для роста рыб и земноводных режимах светового фактора увеличиваются количество лимфоцитов и эритроцитов, концентрация гемоглобина, изменяется биохимический состав сывороточных белков и улучшаются морфофизиологические индексы.

Ю. А. Ивановский [63, 64] в исследованиях эффекта радиационной стимуляции при действии больших и малых доз ионизирующего облучения установил стимулирующее действие γ -облучения при больших дозах радиации на различные биологические процессы на *Artemia sa-*

lina, а также влияние сверхмалых доз γ -радиации на двигательную активность ресничек мерцательного эпителия у животных и растений различных таксономических групп. Вместе с тем Ю. А. Ивановский отмечает, что при больших дозах радиационная стимуляция сопровождается процессами лучевого поражения у животных и растений различных таксономических групп.

Группа авторов во главе с М. М. Радько [152], воздействуя электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, переменного однородного магнитного поля и омагниченной воды на оплодотворенную икру и эмбрионы белого амура, наблюдала стимулирующее влияние на эмбриональное развитие и выживаемость личинок растительноядных рыб.

В исследованиях влияния слабых импульсных магнитных полей (СИМП) на развитие рыб А. Г. Селюков и др. [85, 161] отмечают, что под воздействием указанного физического фактора у личинок стерляди (*A. ruthenus*) наблюдались существенные расхождения в сформированности гонад и признаки начала цитологической дифференцировки пола. Результаты, полученные с применением СИМП на сибирском осетре (*A. baeri*), свидетельствуют о повышенном, в сравнении с контролем, уровне сбалансированности морфометрических параметров и более интенсивном развитии репродуктивной системы, отчетливо проявляющихся в пятимесячном возрасте. Кроме того, личинки тугуна (*Coregonus tugun*), обработанные на этапе вылупления СИМП, приобретали токсикорезистентные характеристики, которые способствовали их продолжительному существованию в условиях нефтяного загрязнения без патоморфологических изменений органов, отвечающих за важнейшие функции организма.

Д. Ю. Шкуратов и др. [39] проводили исследования влияния низкоинтенсивного лазерного ($\lambda = 633$ нм) и сверхвысокочастотного электромагнитного (450 МГц) излучений и их сочетания на эмбрионы и личинки морского ежа (*Strongylocentrotus intermedius*). Установлено, что облучение сверхвысокочастотным излучением оказывает повреждающее воздействие на эмбрионы и личинки морского ежа. Воздействие НИЛИ после сверхвысокочастотного излучения смягчало повреждающее действие, что сказывалось на увеличении выживания личинок.

Таким образом, исследования многих ученых направлены на изучение влияния различных физических факторов на рост и развитие гидробионтов. В то же время актуальными являются исследования

применения низкоинтенсивного лазерного излучения в рыбоводстве. К сожалению, работы, посвященные применению НИЛИ в рыбоводстве, немногочисленны.

В первых исследованиях влияния лазерного излучения на развитие рыб в качестве источника излучения использовались гелий-неоновые лазеры с длиной волны ($\lambda = 632,8$ нм).

А. Б. Узденский и О. А. Воробьева [182] в исследованиях влияния гелий-неонового лазерного излучения красной области спектра ($\lambda = 632,8$ нм) с плотностью мощности $3\text{--}4$ мВт/см² и экспозиции 1–30 мин на оплодотворенную икру севрюги (*A. stellatus*), азовского и черноморского осетров (*A. gueldenstaedti*) установили, что НИЛИ оказывало как отрицательное, так и положительное влияние на жизнедеятельность икры и личинок осетровых рыб в зависимости от длительности экспозиции и стадии эмбрионального развития, на которой осуществляли воздействие. Отрицательный эффект проявлялся в замедлении и снижении выклева предличинок, уменьшении выживаемости личинок, увеличении частоты морфологических нарушений. В то же время отмечены некоторые незначительные положительные эффекты: снижение процента водянок и аномалий обонятельного органа, увеличение размерно-весовых показателей.

В исследованиях влияния лазерного излучения на раннее развитие вьюна (*Misgurnus fossilis*) при воздействии на неоплодотворенную икру гелий-неоновым НИЛИ ($\lambda = 632,8$ нм) красной области спектра О. В. Аверьянова и др. [74] наблюдали, в зависимости от времени экспозиции (30–360 с) и плотности мощности ($0,1\text{--}11,5$ мВт/см²), значительное увеличение выживаемости эмбрионов и размерно-весовых показателей предличинок в опытных группах. В облученных партиях икры на всех этапах раннего эмбриогенеза выявилась синхронизация темпа развития отдельных зародышей. В опытных группах наблюдалось значительное уменьшение аномалий эмбрионального развития.

Сотрудники Института рыбного хозяйства Беларуси во главе с В. В. Кончицом [125] в своих исследованиях указывают на возможность повышения выживаемости икры в процессе инкубации и увеличения выхода личинок карпа (*Cyprinus carpio*) при воздействии на неоплодотворенную икру излучением гелий-неонового лазера ($\lambda = 632,8$ нм) при плотности мощности излучения $0,4$ мВт/см² и времени экспозиции 60 с.

Вместе с тем оставался вопрос о наиболее благоприятной стадии эмбрионального развития, воздействуя на которой лазерным излучением можно ожидать максимальный стимулирующий эффект.

В своих исследованиях А. Б. Узденский и О. А. Воробьев [182] указывают, что стимулирующий эффект размерно-весовых показателей молоди осетровых вызывало облучение оплодотворенной икры лазерным излучением на 24-й стадии эмбрионального развития. Эти результаты подтвердили исследования У. Г.-Г. Магомедовой [98], которая установила, что 24-я стадия эмбрионального развития осетровых рыб является наиболее благоприятной для воздействия лазерным излучением.

Как известно, эмбриональное развитие рыб характеризуется многократным увеличением массы зародыша и скорости дыхания, а также значительным усложнением структуры икринки. На самых ранних этапах эмбрионального развития (сразу после оплодотворения) это, по существу, одна клетка, которая к окончанию данного периода превращается в высокодифференцированный и крайне гетерогенный по своей структуре и составу организм, отдельные части которого (ткани и органы) имеют свои специфические черты энергетического обмена. Эти общие особенности периода эмбрионального развития накладывают отпечаток на характер энергетического обмена и его регуляцию на данных стадиях [126]. Поэтому воздействие на эмбриональное развитие различными факторами способно существенно изменить весь постэмбриогенез.

Эмбриональное развитие осетровых рыб включает в себя такие основные этапы, как оплодотворение (стадии 1–3), дробление (стадии 3–12), гастрюляция (стадии 13–18), развитие от конца гастрюляции до начала пульсации сердца (нейруляция: стадии 19–23; от смыкания нервных валиков до начала пульсации сердца: стадии 24–28), развитие зародыша от начала пульсации сердца до освобождения из оболочек (стадии 29–36) [51].

По данным Т. А. Детлаф и др. [44], стадия 24 – стадия появления глазных выростов и утолщения переднего конца выделительной системы. На этой стадии образуются глазные выросты, зачатки перепончатых лабиринтов, зачатки железы вылупления, зачатки первой пары висцеральных дуг. В передней части закладок выделительной системы образуется утолщение, представляющее собой зачаток предпочки, собирающего канала и верхней части выводных протоков (предпочечных протоков). Данный период эмбрионального развития характеризуется

изменением формы тела зародыша, обособлением хвостового отдела, формированием отделов головного мозга, появлением закладки органов чувств (обонятельных мешков, глаз и перепончатых лабиринтов), зачатков гипофиза, эпифиза, железы вылупления, закладкой висцеральных дуг, обособлением и дифференцировкой предпочки, образованием сердца и кровеносных сосудов, закладкой жаберных карманов и зачатков печени. Происходит начало дифференцировки тканей (образуются мышечные волокна, начинается вакуализация хорды, появляются кровяные клетки).

На данной стадии эмбрионального развития зародыш неподвижен и не изменяет своего положения в оболочках. Изменение внешней формы тела зародыша характеризуется рядом особенностей, связанных с большим количеством желтка в клетках стенки кишки и в связи с этим относительно большими размерами брюшного отдела тела. Головной отдел у зародышей осетровых, как и у костных гоноидов и костистых рыб, долгое время остается необособленным и лежит на поверхности брюшного отдела тела, только постепенно отделяясь от него путем образования кожной складки. Хвост так же, как голова, обособляется путем образования кожной складки, но несколько раньше. Одновременно происходит удлинение осевых органов, причем заметно удлиняется головной отдел, а в конце этапа начинается быстрый рост хвостового отдела. Последний начинает обособляться вскоре после замыкания нервной трубки: нерасчлененная осевая мезодерма, примыкающая к заднему концу нервной трубки, несколько стягивается к среднеспинной плоскости, утолщается и приподнимается над поверхностью зародыша, образуя вместе с концом нервной трубки первый зачаток хвоста, который затем непрерывно удлиняется. У заднего конца хвостового зачатка эпителий образует углубление, хвостовую складку, и таким образом хвостовой конец отделяется от брюшного отдела [50, 247].

Кроме стадии эмбрионального развития, оставался открытым вопрос о наиболее оптимальной плотности мощности воздействующего физического фактора. В исследованиях влияния гелий-неонового лазерного излучения красной области спектра ($\lambda = 632,8$ нм) на морфометрические и биохимические показатели в процессе развития осетровых рыб У. Г.-Г. Магомедова пришла к выводу, что плотность мощности $2,92$ мВт/см² оказывает стимулирующее влияние на выживаемость, выход предличинок и личинок, преобладание в линейно-весовых показателях [98].

В исследованиях сотрудников Института физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси указывается, что плотность мощности $3,0 \text{ мВт/см}^2$ оказывает максимальный стимулирующий эффект при облучении клеток животных в условиях *in vitro* [158].

Таким образом, попытки использования лазерного излучения красной области спектра (гелий-неоновый лазер, $\lambda = 632,8 \text{ нм}$) в рыбоводстве показали, что его воздействие на икру осетра и севрюги оказывает (в зависимости от дозовой нагрузки и стадии эмбрионального развития) либо слабо выраженное стимулирующее влияние на выживаемость и жизнеспособность мальков и их размерно-весовые показатели, либо действие на эмбриогенез рыб имеет негативный характер [98, 182]. Более выраженное стимулирующее действие излучение гелий-неонового лазера оказывает на эмбриональное развитие вьюна [74, 92, 125].

Разнообразие реакций эмбрионов, по-видимому, связано с различной зависимостью фоточувствительности икры от ряда факторов: спектральных и энергетических параметров освещения, оптических характеристик икринок, эволюционно выработанных адаптаций, а также стадий эмбриогенеза и внешних условий [182]. При этом по своим оптическим характеристикам икра вьюна, сиговых или карповых рыб, желто-оранжевая окраска которых определяется главным образом наличием каротиноидов и цитохромов [188], значительно отличается от спектра поглощения икры осетровых рыб из-за наличия меланина, придающего ей черную окраску. Меланиновые пигменты, помимо функций тушителя синглетного кислорода, ингибитора свободно радикальных реакций, химического протектора и т. п. [181, 207], выступают также и в роли своеобразного оптического экрана для излучения ультрафиолетовой и видимой областей спектра, значительно снижая его интенсивность и фотобиологическую активность [165].

Поиск наиболее оптимального спектрального диапазона воздействующего лазерного излучения является актуальной задачей, поставленной перед современными исследователями.

В последние годы все больше исследователей в области ихтиологии, гидробиологии и аквакультуры уделяют внимание изучению влияния НИЛИ ИК области спектра. Так, С. Ю. Крутик [87] указал на возможность повышения выживаемости предличинок и молоди тетры-плотвички *Hemigrammus caudovittatus* при воздействии импульсным инфракрасным лазерным излучением ($\lambda = 890 \text{ нм}$).

Э. К. Попова [167] при изучении стабилизации фенотипического и генотипического разнообразия в аквакультуре лососевых путем кратковременного воздействия НИЛИ отмечала, что воздействие на рыб в раннем онтогенезе лазерным или магнитно-инфракрасно-лазерным излучением в определенном дозовом интервале способствует сохранению генетического разнообразия искусственно выращиваемой молоди семги.

Как следует из представленных выше данных, икра и эмбрионы рыб, в том числе осетровых, являются удобной моделью для исследования биологических механизмов действия факторов физической природы, а именно НИЛИ.

Одним из принципиальных вопросов в естественных науках, в том числе в биологии и сельском хозяйстве, является вопрос о биологической активности непрерывного и модулированного лазерного излучения, который в настоящее время остается открытым.

4.3. Зависимость биологической активности низкоинтенсивного лазерного излучения от частоты его модуляции

Выраженная биологическая активность и высокая стимулирующая эффективность НИЛИ видимой и ближней инфракрасной областей спектра в настоящее время практически не ставятся под сомнение как отечественными специалистами, так и исследователями ведущих стран Западной Европы, США и Японии [93, 122, 178, 209, 221, 331, 400]. При этом наиболее широкое распространение в современной практике использования НИЛИ нашли методы, основанные на воздействии оптическим излучением непрерывного и импульсного (наносекундного) режимов генерации. Что касается режима модуляции, то его наличие (хотя и предусмотрено в выпускаемых аппаратах НИЛИ на основе полупроводниковых лазеров) является скорее данью моде и элементом саморекламы организаций-производителей лазерной медицинской техники, чем научно обоснованным подходом [209]. Имеющиеся в литературе экспериментальные сведения о зависимости биологического действия лазерного излучения от частоты модуляции столь противоречивы, что не позволяют обосновать критерии ее выбора для повышения стимулирующей эффективности метода [27, 38, 79, 156, 206, 258, 262, 265, 402, 403].

Анализ вышеуказанных литературных данных позволяет заключить, что одной из причин их противоречивости является проведение

сравнительных исследований при каком-либо одном фиксированном значении дозовой нагрузки [27, 38, 79, 156, 206, 265]. Кроме того, в некоторых из выше цитированных источников средняя плотность мощности модулированного излучения не соответствовала таковой для непрерывного, что может сказываться на величине стимулирующего эффекта [228]. Все это не позволяет выявить общие закономерности биологического и стимулирующего действия, непрерывного и модулированного по интенсивности излучения.

4.4. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения инфракрасной области спектра на рыбопосадочный материал осетровых

В результате исследований технологии воспроизводства осетровых в УЗВ установлена необходимость разработки принципиально новых технологических элементов осетроводства для получения качественного рыбопосадочного материала – основного элемента для успешного функционирования аквакультуры осетровых. Одним из таких технологических элементов является НИЛИ, которое, характеризуясь когерентностью, поляризованностью и монохроматичностью, не изменяя внутримолекулярных связей, влияет на энергетический потенциал молекул и на кинетику биохимических процессов.

Спектр поглощения меланина. Как было показано нами выше, попытки использования лазерного излучения красной области спектра (гелий-неоновый лазер, $\lambda = 632,8$ нм) в рыбоводстве показали, что его воздействие оказывает слабо выраженное стимулирующее влияние на молодь осетровых рыб, более выраженное стимулирующее действие излучение гелий-неонового лазера оказывает на эмбриональное развитие выюна и карповых рыб, а разнообразие реакций эмбрионов, по видимому, связано с различной фоточувствительностью икры. По своим оптическим характеристикам икра выюна, сиговых или карповых рыб, желто-оранжевая окраска которых определяется главным образом наличием каротиноидов и цитохромов, значительно отличается от спектра поглощения икры осетровых рыб из-за наличия меланина, придающего ей черную окраску. Меланиновые пигменты, помимо функций тушителя синглетного кислорода, ингибитора свободнорадикальных реакций, химического протектора и т. п., выступают также и в роли своеобразного оптического экрана для излучения ультрафиолето-

вой и видимой областей спектра, значительно снижая его интенсивность и фотобиологическую активность.

Спектр поглощения водного раствора меланина (придающего черную окраску икре осетровых рыб) при pH 7.3 представлен на рис. 4.1.

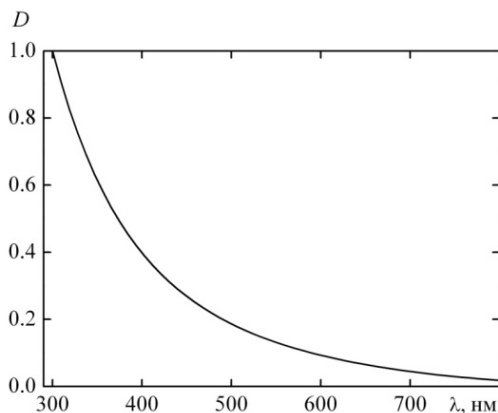


Рис. 4.1. Спектр поглощения водного раствора меланина

Как видно на рис. 4.1, оптическая плотность раствора монотонно падает по мере увеличения длины волны в диапазоне 300–800 нм и в области ~800 нм экранирующее действие меланина минимальное. Считается [373], что такой вид спектра поглощения обусловлен присутствием в его растворе ансамбля мономерных и полимерных молекул 5,6-индолхинона разной длины и молекулярной массы, которые могут формировать сложные нанокolloидные структуры и характеризуются совокупностью индивидуальных (для каждого типа структур) спектров поглощения. То есть регистрируемый гладкий спектр поглощения пигмента является суммарным спектром составляющих его компонентов.

Учитывая слабое экранирующее действие меланина в ближней ИК области спектра и выраженную биологическую активность лазерного излучения в указанном диапазоне [209], можно ожидать, что НИЛИ с $\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм способно оказывать заметное влияние на эмбриональное развитие осетровых рыб.

Нарушения в эмбриональный период развития. В современной практике рыбоводства приняты основные критерии для суждения о

степени благоприятности условий инкубации: продолжительность развития и дружность вылупления, число и строение уродов, размеры и источники отхода в период инкубации, а также жизнестойкость молоди [51].

После воздействия НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) в определенном интервале интенсивностей и доз (времени экспозиции) на оплодотворенную икру на 24-й стадии эмбрионального развития (стадия появления глазных выростов и утолщения переднего конца выделительной системы) мы исследовали нарушения в развитии на 27–28-й стадиях (стадия короткой сердечной трубки и стадия начала пульсации сердца соответственно).

Основные нарушения, которые наблюдаются в этот период эмбрионального развития, можно условно разделить на 2 группы: недоразвитость передних отделов тела и нарушение закладки сердца. Основные признаки первой группы нарушений (недоразвитость передних отделов тела) – отсутствие переднего мозгового пузыря, отсутствие головного и переднотуловищного отдела. Основные признаки второй группы нарушений (нарушение закладки сердца) – развитие двух зачатков сердца или отсутствие самого зачатка сердца.

Проведенные исследования показали, что воздействие на зародыши осетровых рыб на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времени экспозиции) снижает количество нарушений в зародышевый период развития при контролировании на 27–28-й стадиях.

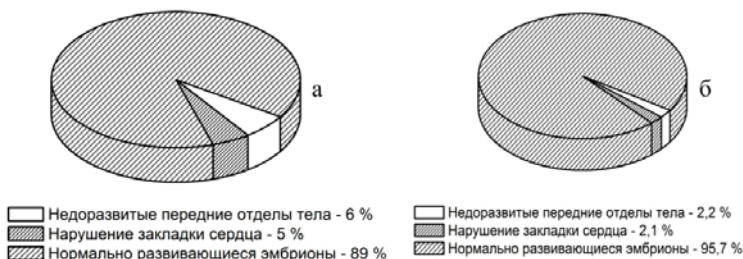


Рис. 4.2. Влияние НИЛИ ИК области спектра на нарушения в эмбриональный период развития гибридов С.БС на 27–28-й стадиях:
а – контрольная группа; б – усредненные данные опытных групп

Таблица 4.1. Зависимость процентной величины нарушений в эмбриональный период развития гибридов С.БС на 27–28 стадиях (n = 100) от t и F НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²)

Частота модуляции (F), Гц	Время облучения (t), с	Вид нарушений	
		Недоразвитые передние отделы тела, %	Нарушение закладки сердца, %
Контроль	0	6	5
$F = 0$ Гц	30	2	1
	60	1	2
	90	2	0
	180	1	1
	300	3	0
	600	2	3
$F = 1$ Гц	30	4	0
	60	2	4
	90	3	3
	180	1	3
	300	5	3
	600	4	2
$F = 2$ Гц	30	4	0
	60	5	1
	90	2	1
	180	0	3
	300	4	2
	600	4	5
$F = 5$ Гц	30	3	5
	60	2	4
	90	4	2
	180	0	3
	300	3	2
	600	1	4
$F = 10$ Гц	30	2	0
	60	1	4
	90	0	2
	180	1	1
	300	0	3
	600	1	4
$F = 50$ Гц	30	0	2
	60	1	2
	90	2	1
	180	4	0
	300	2	2
	600	4	1

Как видно из рис. 4.1, а, в контрольной группе, эмбрионы которой не подвергались воздействию НИЛИ ИК области спектра, доля нару-

шений в развитии была выше, чем в опытных группах (рис. 4.1, б), эмбрионы которых подвергались воздействию НИЛИ ИК области спектра, при этом доля нормально развивающихся эмбрионов в контрольной и опытных группах составила 89 и 95,7 % соответственно.

Детальная информация о нарушениях в развитии по каждой опытной группе представлена в табл. 4.1.

В дальнейшем нами исследовались нарушения в эмбриональном развитии непосредственно перед началом 35-й стадии (стадия начала выклева). Основные нарушения в этой стадии индивидуального развития условно можно разделить на 3 группы: недоразвитость переднего отдела тела, нарушение строения сердца, искривление тела.

Основные признаки первой группы нарушений (недоразвитость переднего отдела тела) – нарушение строения или отсутствие передних отделов головного мозга, отсутствие глаз.

Основные признаки второй группы нарушений (нарушение строения сердца) – водянка перикарда, дефекты сердца (водянка, отсутствие или раздвоенность сердца и др.).

Проведенные исследования показали, что воздействие на зародыши осетровых рыб на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времени экспозиции) снижает количество нарушений в зародышевый период развития при контролировании на 35-й стадии.

Как видно из рис. 4.3, а, в контрольной группе, эмбрионы которой не подвергались воздействию НИЛИ ИК области спектра, доля нарушений в развитии была выше, чем в опытных группах (рис. 4.3, б), эмбрионы, которых подвергались воздействию НИЛИ ИК области спектра, при этом доля нормально развивающихся эмбрионов в контрольной и опытных группах составила 75 и 85,4 % соответственно.

Детальная информация о нарушениях по каждой опытной группе представлена в табл. 4.2.

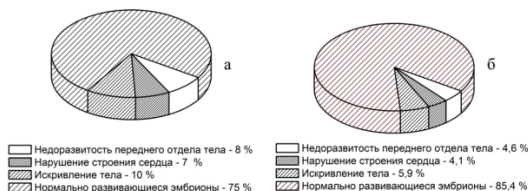


Рис. 4.3. Влияние НИЛИ ИК области спектра на нарушения в эмбриональный период развития гибридов С.БС на 35-й стадии:

а – контрольная группа; б – усредненные данные опытных групп

Таблица 4.2. Зависимость процентной величины нарушений в эмбриональный период развития гибридов С.БС на 35-й стадии ($n = 100$) от t и F НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²)

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Вид нарушений		
		Недоразвитость переднего отдела тела, %	Нарушение строение сердца, %	Искривление тела, %
Контроль	0	8	7	10
$F = 0$ Гц	30	3	4	5
	60	4	4	6
	90	3	1	4
	180	3	2	3
	300	5	3	3
	600	3	3	4
$F = 1$ Гц	30	5	1	2
	60	3	5	3
	90	4	5	5
	180	3	4	7
	300	6	7	6
	600	5	3	8
$F = 2$ Гц	30	5	3	6
	60	6	4	5
	90	4	5	5
	180	4	3	6
	300	6	4	4
	600	6	7	8
$F = 5$ Гц	30	7	8	10
	60	5	6	4
	90	7	4	5
	180	4	5	7
	300	5	6	7
	600	4	6	6
$F = 10$ Гц	30	4	5	7
	60	4	7	7
	90	4	5	7
	180	3	5	6
	300	4	3	5
	600	3	6	8
$F = 50$ Гц	30	5	7	8
	60	3	4	6
	90	7	2	8
	180	7	5	9
	300	3	4	7
	600	8	3	7

Проведенные исследования показали, что воздействие на зародыши осетровых рыб на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времени экспозиции) снижает количество нарушений в зародышевый период развития при контролировании в подпериод свободного эмбриона (предличинки) (рис. 4.4).

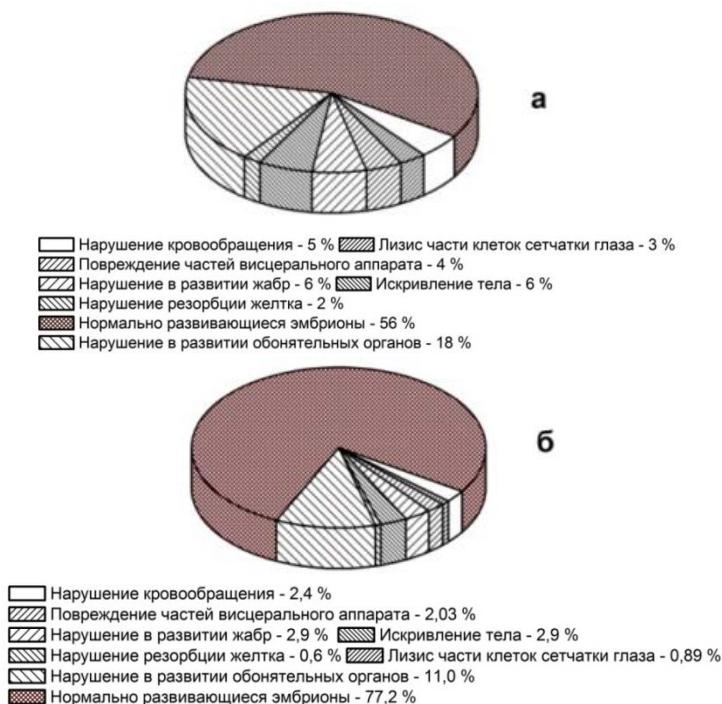


Рис. 4.4. Влияние НИЛИ ИК области спектра на нарушения развития гибридов С.БС в период предличинки: *а* – контрольная группа; *б* – усредненные данные опытных групп

Как видно из рис. 4.4, *а*, в контрольной группе, эмбрионы которой не подвергались воздействию НИЛИ ИК области спектра, доля нарушений в развитии была выше, чем в опытных группах (рис. 4.4, *б*), эмбрионы которых подвергались воздействию НИЛИ ИК области спектра, при этом доля нормально развивающихся эмбрионов в контрольной и опытных группах составила 56 и 77,2 % соответственно.

Детальная информация о нарушениях по каждой опытной группе представлена в табл. 4.3.

Основные нарушения в эмбриональном развитии в подпериод свободного эмбриона (предличинки) условно можно разделить на 7 групп: нарушение кровообращения, нарушение окислительных процессов, повреждение частей висцерального аппарата, нарушение в развитии жабр, нарушение резорбции желтка, нарушение в развитии обонятельных органов, искривление тела.

Таблица 4.3. Зависимость процентной величины нарушений в развитии гибридов С.БС в период предличинки ($n = 100$) от t и F НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²)

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Вид нарушений						
		Нарушение кровообращения, %	Лизис части клеток сетчатки глаза, %	Повреждение частей висцерального аппарата, %	Нарушение в развитии жабр, %	Искривление тела, %	Нарушение резорбции желтка, %	Нарушение в развитии обонятельных органов, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль	0	5	3	4	6	6	2	18
$F = 0$ Гц	30	3	2	4	5	4	0	10
	60	2	1	2	4	5	0	12
	90	3	3	3	2	2	0	11
	180	2	0	2	3	3	1	11
	300	2	0	1	5	5	0	15
	600	4	2	3	1	2	0	11
$F = 1$ Гц	30	3	3	5	4	3	2	12
	60	2	0	2	2	5	0	13
	90	1	1	1	4	1	0	14
	180	0	2	0	4	2	3	9
	300	2	0	3	5	4	0	8
	600	5	0	2	2	2	2	11
$F = 2$ Гц	30	3	3	1	3	3	0	12
	60	0	0	2	5	5	1	13
	90	1	1	3	5	1	0	10
	180	2	2	2	4	2	2	11
	300	3	2	2	2	4	0	12
	600	4	0	5	3	2	3	8
$F = 5$ Гц	30	2	1	2	5	5	0	9
	60	5	0	3	2	3	1	12
	90	0	0	1	4	2	0	14
	180	6	2	2	2	2	0	13
	300	2	0	3	1	5	0	11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F = 10$ Гц	30	2	0	0	3	3	0	9
	60	3	0	3	2	5	1	8
	90	2	2	1	4	2	0	7
	180	4	0	2	2	4	0	12
	300	2	1	2	1	2	0	13
	600	3	0	3	2	1	0	14
$F = 50$ Гц	30	2	0	2	3	5	0	12
	60	0	2	1	2	2	1	11
	90	1	0	1	1	3	0	10
	180	2	1	2	2	3	1	10
	300	3	0	0	3	0	0	9
	600	5	0	0	2	2	1	8

Основные признаки второй группы нарушений – лизис части клеток сетчатки глаза. Основные признаки третьей группы нарушений – повреждение хрящей нижней челюсти, что вызывает уродства рта, в результате чего рот не выдвигается или не способен даже к хватательному движению. Основные признаки четвертой группы нарушений – наличие аномально длинных и не прикрывающихся жаберными крышками жабр. Основные признаки пятой группы нарушений – медленное расщепление желточных пластинок, а также наличие нерасщепленного желтка, который представляет собой механическое препятствие для образования складки, отделяющей кишечник от желудка. Основные признаки шестой группы нарушений – отсутствие носовой перегородки в ноздрях.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что воздействие НИЛИ ИК области спектра на зародыши осетровых рыб на 24-й стадии способно вызывать коррекцию эмбрионального развития. При этом на всех ключевых стадиях развития доля нормально развивающихся эмбрионов в контрольной группе была значительно ниже, чем в опытных группах. Похожие эффекты регистрировали также А. Б. Узденский и О. Ю. Воробьева [182] при воздействии на эмбрионы осетровых рыб определенных доз излучения гелий-неонового лазера красной области спектра, а именно: в опытной группе (по сравнению с контрольной) отмечалось значительное сокращение экземпляров с аномальными морфологическими признаками. Учитывая тот факт, что комплекс неблагоприятных факторов вызывают сложные нарушения в эмбриональном развитии, можно утверждать, что НИЛИ ИК об-

ласти спектра способно минимизировать воздействия этих факторов на индивидуальное развитие осетровых рыб.

Выживаемость личинок в периоды эндогенного и начала экзогенного питания. Выживаемость – важный показатель адаптивной ценности генотипа различных видов животных. Однако в условиях промышленного разведения осетровых рыб повышение выживаемости на ранних этапах индивидуального развития является важной задачей современной аквакультуры. В технологии выращивания рыбопосадочного материала наиболее ответственным является период от вылупления зародыша до начала активного (экзогенного) питания. Особенность этого периода заключается в смене зародышевых приспособлений и функций на дефинитивные. В процессе такой смены изменяются отношения развивающегося организма со средой, что сказывается на его поведении [51]. В этот период незавершенного органогенеза зачатки многих органов обладают высокой чувствительностью к неблагоприятным воздействиям.

Предличиночное развитие осетровых может быть подразделено на два периода: от вылупления до начала активных дыхательных движений, от начала этих дыхательных движений до перехода на активное питание. Основной особенностью первого периода является подготовка к дефинитивному способу дыхания. В это время происходят очень существенные изменения в жаберной области. Второй период развития предличинок характеризуется рядом изменений, обеспечивающих их переход к дефинитивному способу питания. Эти изменения затрагивают не только пищеварительную систему, но и висцеральный аппарат, преобразование которого создает возможность захвата добычи, и органы чувств, дифференцировка которых позволяет предличинке отыскивать пищу. Изменяются также дыхательная и кровеносная системы, что приводит к лучшему снабжению органов предличинки кислородом [51].

Проведенные исследования показали, что воздействие на эмбрионы гибрида С.БС на 24-й стадии эмбрионального развития (стадия появления глазных выростов и утолщения переднего конца выделительной системы) НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времени экспозиции) оказывает различное стимулирующее влияние на выживаемость предличинок и личинок в зависимости от периода их постэмбрионального развития. Так, на стадии выклева (табл. 4.4) максимальное увеличение выживаемости предличинок отмечено при воздействии ИК излучением с $F = 50$ Гц при $t = 60$

с и составило $90,8 \pm 3,1 \%$ ($P < 0,01$), в контрольной группе $71,4 \pm 1,0 \%$). При других значениях t при $F = 50$ Гц наблюдались менее выраженные эффекты: от $73,2 \pm 0,4 \%$ для $t = 180$ с до $81,1 \pm 1,6 \%$ для $t = 90$ с. Результаты исследования влияния НИЛИ на выживаемость личинок на стадии перехода на активное питание представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.4. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на выживаемость предличинок гибрида С.БС на стадии выклева

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Выклев, %
Контроль	0	$71,4 \pm 1,0$
$F = 0$ Гц	30	$76,6 \pm 1,3^*$
	60	$81,2 \pm 2,3^*$
	90	$77,2 \pm 2,0$
	180	$74,3 \pm 1,4$
	300	$70,8 \pm 1,1$
	600	$74,2 \pm 1,2$
$F = 1$ Гц	30	$71,3 \pm 0,4$
	60	$71,4 \pm 0,6$
	90	$72,1 \pm 0,7$
	180	$72,4 \pm 2,1$
	300	$73,3 \pm 3,5$
	600	$70,0 \pm 0,6$
$F = 2$ Гц	30	$72,6 \pm 1,0$
	60	$74,1 \pm 1,2$
	90	$75,4 \pm 2,3$
	180	$78,4 \pm 2,6$
	300	$76,4 \pm 4,9$
	600	$74,0 \pm 1,5$
$F = 5$ Гц	30	$71,7 \pm 0,5$
	60	$73,6 \pm 0,4$
	90	$75,7 \pm 2,3$
	180	$80,7 \pm 3,9$
	300	$72,6 \pm 0,6$
	600	$72,9 \pm 1,5$
$F = 50$ Гц	30	$80,6 \pm 0,6^{**}$
	60	$90,8 \pm 3,1^{**}$
	90	$81,1 \pm 1,6^*$
	180	$73,2 \pm 0,4$
	300	$74,2 \pm 0,6$
	600	$76,1 \pm 0,7^*$

Таблица 4.5. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм,
 $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на выживаемость личинок гибрида С.БС
на стадии перехода на активное питание

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Выживаемость, %
Контроль	0	$89,5 \pm 1,8$
$F = 0$ Гц	30	$92,1 \pm 0,6$
	60	$94,7 \pm 0,4^*$
	90	$90,0 \pm 1,5$
	180	$87,8 \pm 1,4$
	300	$87,3 \pm 0,3$
	600	$90,2 \pm 1,5$
$F = 1$ Гц	30	$88,2 \pm 0,7$
	60	$86,8 \pm 0,5$
	90	$86,9 \pm 0,7$
	180	$87,2 \pm 0,7$
	300	$87,4 \pm 0,8$
	600	$87,9 \pm 1,1$
$F = 2$ Гц	30	$88,6 \pm 0,3$
	60	$88,1 \pm 1,5$
	90	$88,6 \pm 1,1$
	180	$88,7 \pm 0,9$
	300	$92,7 \pm 1,9$
	600	$86,8 \pm 0,6$
$F = 5$ Гц	30	$89,5 \pm 0,9$
	60	$89,7 \pm 1,4$
	90	$89,6 \pm 1,7$
	180	$91,9 \pm 3,0$
	300	$86,0 \pm 0,5$
	600	$92,5 \pm 2,9$
$F = 10$ Гц	30	$89,6 \pm 1,9$
	60	$89,9 \pm 2,5$
	90	$88,9 \pm 0,7$
	180	$86,6 \pm 0,5$
	300	$92,9 \pm 3,8$
	600	$94,3 \pm 1,2$
$F = 50$ Гц	30	$88,4 \pm 0,6$
	60	$86,0 \pm 0,1$
	90	$89,2 \pm 0,8$
	180	$92,4 \pm 1,0$
	300	$89,7 \pm 1,3$
	600	$87,5 \pm 1,3$

На стадии перехода на активное питание (табл. 4.5) максимальное увеличение выживаемости личинок вызывало воздействие ИК излу-

нием в непрерывном режиме ($F = 0$ Гц) при $t = 60$ с и составило $94,7 \pm 0,4$ % ($P < 0,05$), в контрольной группе $89,5 \pm 1,8$ %.

При других значениях t в непрерывном режиме наблюдались менее выраженные эффекты: от $87,3 \pm 0,3$ % для $t = 300$ с до $92,1 \pm 0,6$ % для $t = 30$ с. Увеличение выживаемости личинок наблюдалось также в группах, на которые осуществлялось воздействие ИК излучением при $F = 2$ Гц и $t = 300$ с – $92,7 \pm 1,9$ %, при $F = 5$ Гц, $t = 600$ с – $92,5 \pm 2,9$ %; при $F = 10$ Гц, $t = 600$ с – $94,3 \pm 1,2$ %; при $F = 50$ Гц, $t = 180$ с – $92,4 \pm 1,0$ %.

Таким образом, в результате исследований влияния НИЛИ ИК области спектра на выживаемость предличинок и личинок гибрида С.БС установлено, что изучаемый физический фактор способен оказывать стимулирующее действие на выживаемость в зависимости от режима модуляции и времени экспозиции.

Наибольший стимулирующий эффект произвело воздействие лазерным излучением с $F = 50$ Гц и $t = 60$ с (стадия выклева, увеличение выживаемости на $19,4$ % – $P < 0,01$), а также воздействие в непрерывном режиме ($F = 0$ Гц), при $t = 60$ с (стадия перехода на активное питание, увеличение выживаемости на $5,2$ % – $P < 0,05$).

Выживаемость молоди. С началом активного питания наступают коренные изменения в биологии и физиологии молоди осетровых рыб. Этот этап характеризуется интенсивным обменом веществ и высоким темпом роста. Развиваются органы и признаки, без которых невозможно дальнейшее нормальное развитие. Начинается превращение личинки в малька, которое заканчивается через 35–40 дней после выклева [45].

Мальки, несмотря на небольшие размеры, приобретают многие признаки взрослой рыбы и, в частности, могут активно добывать себе пищу и успешно уклоняться от преследования врагов [112].

Выживаемость молоди во время подращивания зависит как от внутренних, так и от внешних факторов. Внутренние факторы связаны с качеством исходного материала, а также с возрастом растущей молоди, морфологическими и биохимическими отклонениями и др. К внешним факторам относится все, что находится вне организма (качество и количество пищи, температура, содержание O_2 , CO_2 и др.) [171].

В УЗВ в результате интенсивного выращивания личинки и молодь осетровых рыб, несмотря на высокую функциональную пластичность раннего онтогенеза, оказываются в условиях высоких стрессовых

нагрузок на организм (искусственные корма, высокая плотность посадки, многократное использование воды и др.), что приводит к ухудшению физиологического состояния и, соответственно, к снижению выживаемости [186].

Проведенные исследования показали, что воздействие на эмбрионы гибрида С.БС на 24-й стадии эмбрионального развития (стадия появления глазных выростов и утолщения переднего конца выделительной системы) НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времени экспозиции) оказывает различное стимулирующее влияние на выживаемость мальков в зависимости от возраста.

Так, максимальное увеличение выживаемости 30-суточной молоди отмечено при воздействии ИК излучением с $F = 50$ Гц при $t = 60$ с, которое составило $97,4 \pm 0,5$ % ($P < 0,05$), а также при $F = 10$ Гц и $t = 300$ с – $97,6 \pm 1,0$ %, в контрольной группе $91,0 \pm 1,6$ %.

Увеличение выживаемости 30-суточных мальков наблюдалось и при других режимах и дозах воздействия. При $F = 0$ Гц, максимальный стимулирующий эффект наблюдался при $t = 60$ с – $96,3 \pm 1,3$ % ($P < 0,05$); при $F = 1$ Гц, $t = 600$ с – $93,1 \pm 2,1$ %; при $F = 2$ Гц, $t = 60$ с – $92,7 \pm 1,4$ %; при $F = 5$ Гц, $t = 180$ с – $92,7 \pm 1,9$ %.

Следует отметить незначительное снижение выживаемости по отношению к контрольному значению в группах, на которые воздействовали ИК излучением при $F = 2$ Гц, $t = 600$ с; при $F = 5$ Гц, $t =$ от 30 до 90, 300 с; при $F = 10$ Гц, $t =$ от 30 до 180 с (табл. 4.6).

Таблица 4.6. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на выживаемость 30-суточной молоди гибрида С.БС

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Выживаемость, %
1	2	3
Контроль	0	$91,0 \pm 1,6$
$F = 0$ Гц	30	$93,6 \pm 1,6$
	60	$96,3 \pm 1,3^*$
	90	$94,7 \pm 0,7^*$
	180	$93,4 \pm 0,6$
	300	$91,5 \pm 0,9$
	600	$91,8 \pm 1,6$

Окончание табл. 4.6

1	2	3
$F = 1 \text{ Гц}$	30	$91,9 \pm 1,7$
	60	$92,9 \pm 1,9$
	90	$92,3 \pm 1,9$
	180	$91,4 \pm 1,3$
	300	$91,0 \pm 1,1$
	600	$93,1 \pm 2,1$
$F = 2 \text{ Гц}$	30	$91,4 \pm 1,7$
	60	$92,7 \pm 1,4$
	90	$92,1 \pm 1,4$
	180	$91,9 \pm 1,0$
	300	$91,0 \pm 0,8$
	600	$90,0 \pm 0,6$
$F = 5 \text{ Гц}$	30	$90,4 \pm 0,8$
	60	$89,4 \pm 0,3$
	90	$90,0 \pm 0,9$
	180	$92,7 \pm 1,9$
	300	$90,7 \pm 0,8$
	600	$91,2 \pm 1,2$
$F = 10 \text{ Гц}$	30	$90,6 \pm 1,2$
	60	$90,4 \pm 0,5$
	90	$90,8 \pm 0,8$
	180	$90,9 \pm 0,5$
	300	$97,6 \pm 1,0$
	600	$94,3 \pm 0,8$
$F = 50 \text{ Гц}$	30	$93,6 \pm 1,1$
	60	$97,4 \pm 0,5^*$
	90	$93,6 \pm 0,7$
	180	$91,0 \pm 1,0$
	300	$91,8 \pm 1,8$
	600	$92,5 \pm 2,1$

Максимальное увеличение выживаемости 50-суточной молоди (табл. 4.7) вызывало воздействие ИК излучением с $F = 50 \text{ Гц}$ при $t = 60 \text{ с}$ и составило $98,3 \pm 0,7 \%$ ($P < 0,01$), в контрольной группе $90,5 \pm 1,7 \%$. При других значениях t при $F = 50 \text{ Гц}$ наблюдались также выраженные эффекты: от $93,5 \pm 1,8 \%$ для $t = 30 \text{ с}$, до $96,0 \pm 1,8 \%$ для $t = 90 \text{ с}$. Увеличение выживаемости 50-суточной молоди наблюдалось и при других режимах и дозах воздействия. При $F = 0 \text{ Гц}$, максимальный стимулирующий эффект наблюдался при $t = 60 \text{ с}$ – $96,4 \pm 1,4 \%$ ($P < 0,05$).

Таблица 4.7. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на выживаемость 50-суточной молоди гибрида С.БС

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Выживаемость, %
Контроль	0	$90,5 \pm 1,7$
$F = 0$ Гц	30	$92,8 \pm 1,9$
	60	$96,4 \pm 1,4^*$
	90	$95,6 \pm 0,9^*$
	180	$94,7 \pm 0,7$
	300	$93,0 \pm 1,6$
	600	$94,6 \pm 2,3$
$F = 1$ Гц	30	$92,2 \pm 1,7$
	60	$94,5 \pm 0,7$
	90	$95,5 \pm 0,6^*$
	180	$96,4 \pm 0,9^*$
	300	$95,5 \pm 1,0$
	600	$91,4 \pm 2,4$
$F = 2$ Гц	30	$90,3 \pm 1,9$
	60	$90,9 \pm 1,1$
	90	$91,3 \pm 1,4$
	180	$92,4 \pm 1,0$
	300	$93,4 \pm 0,5$
	600	$89,2 \pm 0,5$
$F = 5$ Гц	30	$91,2 \pm 2,1$
	60	$91,8 \pm 1,2$
	90	$93,2 \pm 0,7$
	180	$94,6 \pm 1,2$
	300	$97,0 \pm 1,4$
	600	$93,3 \pm 3,4$
$F = 10$ Гц	30	$89,7 \pm 1,8$
	60	$88,7 \pm 0,4$
	90	$89,4 \pm 1,0$
	180	$90,0 \pm 1,0$
	300	$90,3 \pm 1,5$
	600	$91,5 \pm 1,3$
$F = 50$ Гц	30	$93,5 \pm 1,8$
	60	$98,3 \pm 0,7^{**}$
	90	$96,0 \pm 1,8$
	180	$94,7 \pm 0,5$
	300	$94,0 \pm 0,8$
	600	$95,8 \pm 1,0^*$

Таким образом, в результате исследований влияния НИЛИ ИК области спектра на выживаемость 30- и 50-суточной молоди установлено, что изучаемый физический фактор способен оказывать стимулиру-

рующее действие на выживаемость в зависимости от режима модуляции и времени экспозиции. Наибольший стимулирующий эффект на стадии 30 суток с момента выклева произвело воздействие $F = 50$ Гц и $t = 60$ с (увеличение выживаемости на 6,4 % – $P < 0,05$), $F = 10$ Гц, $t = 300$ с (на 6,6 %), а также воздействие в непрерывном режиме $F = 0$ Гц, при $t = 60$ с (на 5,3 % – $P < 0,05$); на стадии 50 суток с момента выклева: $F = 50$ Гц, $t = 60$ с (увеличение выживаемости на 7,8 % – $P < 0,01$), $F = 0$ Гц, $t = 60$ с (на 5,9 % – $P < 0,05$), $F = 5$ Гц, $t = 300$ с (на 6,5 %).

Динамика размерно-весовых показателей молоди. Изучение роста молоди в искусственных условиях позволяет получить важный материал для анализа целесообразности и эффективности различных методов выращивания, в том числе и применения НИЛИ [43].

Средняя масса и прирост молоди. На стадии выклева и перехода на активное питание средняя масса и длина личинок была одинаковой во всех исследуемых группах и составила 10,9 мг и 9,2 мм – на стадии выклева; $17,5 \pm 0,07$ мг и $13,8 \pm 0,08$ мм – на стадии перехода на активное питание. Проведенные исследования показали, что кратковременное воздействие на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времени экспозиции) приводит к достоверному увеличению массы 30-суточной молоди. В контрольной группе, экземпляры которой получены из необлученной икры, средняя масса 30-суточной молоди составила $W = 183,0 \pm 1,7$ мг (табл. 4.8). В опытной группе, эмбрионы которой подвергались воздействию лазерного излучения ($F = 0$ Гц в течение $t = 60$ с) $W = 234,0 \pm 1,1$ мг. То есть при указанном варианте облучения отмечается достоверный ($P < 0,001$) эффект стимуляции (превышение над контролем) размерно-весовых показателей по критерию массы $\gamma_w = 127,9 \pm 0,6$ % (рис. 4.5). В этой группе воздействия абсолютный прирост массы составил $W_a = 216,5$ мг (превышение контрольного значения на 30,9 %), относительный прирост $W_o = 1235,1$ % (превышение контрольного значения на 30,9 %), относительный среднесуточный прирост $W_c = 65,0$ % (превышение контрольного значения на 30,8 %).

Таблица 4.8. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на среднюю массу и прирост 30-суточной молоди гибрида С.БС (n = 160)

Частота модуляции F, Гц	Время облучения t, с	W, мг (M ± m)	Прирост		
			Wa, мг	Wo, %	Wc, %
Контроль	0	183,0 ± 1,7	165,4	943,8	49,7
F = 0 Гц	30	214,0 ± 2,6*	196,4	1120,5	58,9
	60	234,0 ± 1,1***	216,5	1235,1	65,0
	90	207,9 ± 2,3*	190,4	1086,1	57,2
	180	201,0 ± 2,1*	183,5	1046,8	55,1
	300	179,0 ± 1,0	161,5	921,3	48,5
	600	211,8 ± 2,5*	194,3	1108,4	58,3
F = 1 Гц	30	185,2 ± 1,5	167,7	956,5	50,3
	60	195,3 ± 2,0**	177,8	1014,2	53,4
	90	201,5 ± 1,7**	184,0	1049,4	55,2
	180	211,7 ± 2,4*	194,2	1107,9	58,3
	300	192,9 ± 1,7*	175,4	1000,6	52,7
	600	186,6 ± 1,4	169,1	964,5	50,8
F = 2 Гц	30	187,6 ± 1,8	170,1	970,3	51,1
	60	190,2 ± 1,8*	173,7	985,1	51,8
	90	200,7 ± 1,9*	183,2	1045,0	55,0
	180	215,4 ± 2,0**	197,6	1128,9	59,4
	300	232,3 ± 2,1*	214,8	1225,3	64,5
	600	197,9 ± 1,9*	180,4	1029,2	54,2
F = 5 Гц	30	192,9 ± 1,7*	175,4	1000,6	52,6
	60	206,5 ± 1,8*	189,0	1078,0	56,7
	90	211,6 ± 2,0**	194,1	1107,3	58,3
	180	214,9 ± 2,2*	197,4	1126,0	59,3
	300	219,7 ± 1,6*	202,1	1153,0	60,7
	600	218,1 ± 1,8*	200,6	1144,3	60,2
F = 10 Гц	30	184,3 ± 2,0	166,7	951,1	50,1
	60	189,8 ± 2,4*	172,3	982,9	51,7
	90	182,4 ± 1,6	164,9	940,5	49,5
	180	175,5 ± 2,5*	157,9	900,9	47,4
	300	211,0 ± 1,8**	193,4	1103,4	58,1
	600	212,2 ± 2,5*	194,7	1110,7	58,5
F = 50 Гц	30	204,6 ± 2,0**	187,0	1066,9	56,1
	60	230,5 ± 2,0***	212,9	1214,8	63,9
	90	213,6 ± 1,8**	196,1	1118,5	58,9
	180	207,5 ± 1,5*	190,0	1083,9	57,1
	300	198,2 ± 1,4*	180,7	1030,6	54,2
	600	201,8 ± 1,6*	184,3	1051,2	55,3

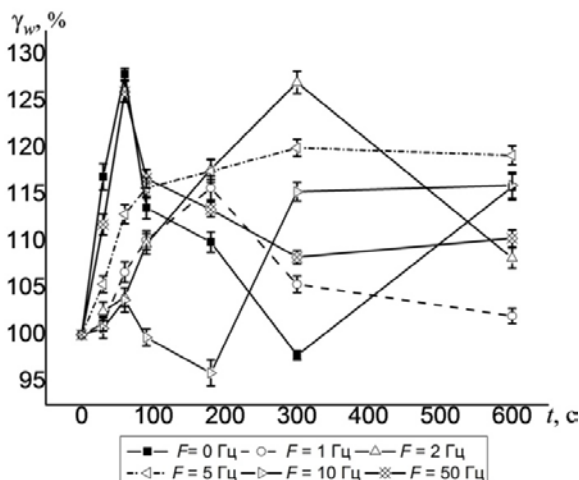


Рис. 4.5. Зависимость величины стимулирующего действия (γ_w) НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) по критерию массы 30-суточной молоди гибрида С.БС от времени экспозиции (t) и частоты модуляции (F)

Значительное увеличение средней массы наблюдается также и при других режимах воздействия: при $F = 2$ Гц, $t = 300$ с – $W = 232,3 \pm 2,1$ мг, эффект стимуляции $\gamma_w = 127,0 \pm 1,2$ %; при $F = 50$ Гц, $t = 60$ с – $W = 230,5 \pm 2,0$ мг ($\gamma_w = 126,0 \pm 1,1$ %). Следует отметить снижение эффекта стимуляции относительно контроля при $F = 0$ Гц, $t = 300$ с ($\gamma_w = 97,8 \pm 0,5$ %), при $F = 10$ Гц, $t = 180$ с ($\gamma_w = 95,9 \pm 1,4$ %).

Кратковременное воздействие на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времен облучения) приводит к достоверному увеличению массы 50-суточной молоди (табл. 4.9).

Если в контрольной группе средняя масса 50-суточной молоди составила $W = 566,3 \pm 9,5$ мг, то для группы рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию модулированного лазерного излучения ($F = 50$ Гц) в течение $t = 60$ с, $W = 1108,3 \pm 18,1$ мг. То есть при указанном варианте облучения отмечается достоверный ($P < 0,001$) эффект стимуляции (превышение над контролем) размерно-весовых показателей по критерию массы $\gamma_w = 195,7 \pm 3,2$ % (рис. 4.6). В этой группе воздействия абсолютный прирост массы составил $W_a = 877,9$ мг (превышение контрольного значения на 129,0 %), относительный прирост $W_o = 380,9$ % (превышение контрольного значения на 81,8 %), относи-

тельный среднесуточный прирост $W_c = 19,0\%$ (превышение контрольного значения на $80,9\%$).

Таблица 4.9. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на среднюю массу и прирост 50-суточной молоди гибрида С.БС (n = 140)

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	W , мг ($M \pm m$)	Прирост		
			W_a , мг	W_o , %	W_c , %
Контроль	0	$566,3 \pm 9,5$	383,3	209,5	10,5
$F = 0$ Гц	30	$710,2 \pm 18,3^*$	496,2	231,9	11,6
	60	$881,1 \pm 13,6^{***}$	647,0	276,5	13,8
	90	$753,3 \pm 19,7^*$	545,4	262,3	13,1
	180	$673,2 \pm 13,3$	472,2	234,9	11,7
	300	$603,9 \pm 10,5^*$	424,9	237,3	11,9
	600	$655,7 \pm 15,7^*$	443,9	209,6	10,5
$F = 1$ Гц	30	$540,8 \pm 8,4^*$	355,6	192,0	9,6
	60	$554,2 \pm 8,9$	358,9	183,7	9,2
	90	$595,0 \pm 15,8$	393,5	195,3	9,8
	180	$638,5 \pm 11,1^{***}$	426,7	201,5	10,1
	300	$540,8 \pm 8,4^*$	347,9	180,3	9,0
	600	$587,7 \pm 10,9$	401,1	214,9	10,7
$F = 2$ Гц	30	$571,4 \pm 9,7$	383,8	204,5	10,2
	60	$575,4 \pm 10,5$	385,1	202,5	10,1
	90	$607,8 \pm 10,8^*$	407,1	202,8	10,1
	180	$646,8 \pm 12,6^*$	431,4	200,3	10,0
	300	$699,8 \pm 17,1^{***}$	467,4	201,2	10,1
	600	$611,0 \pm 10,6^*$	413,1	208,7	10,4
$F = 5$ Гц	30	$574,9 \pm 10,2$	382,0	198,0	9,9
	60	$584,2 \pm 10,9$	377,7	182,9	9,1
	90	$602,7 \pm 7,8^*$	391,0	184,8	9,2
	180	$618,1 \pm 9,2^*$	403,2	187,6	9,4
	300	$662,7 \pm 13,1^{***}$	443,1	201,7	10,1
	600	$638,3 \pm 11,4^*$	420,2	192,6	9,6
$F = 10$ Гц	30	$570,6 \pm 10,8$	386,3	209,7	10,5
	60	$585,1 \pm 12,2$	395,3	208,3	10,4
	90	$575,0 \pm 13,4^*$	392,6	215,2	10,8
	180	$540,8 \pm 8,4^*$	365,3	208,2	10,4
	300	$651,6 \pm 13,9^{***}$	440,7	208,9	10,4
	600	$617,2 \pm 9,6^*$	405,0	190,8	9,5
$F = 50$ Гц	30	$798,9 \pm 26,2^*$	594,4	290,6	14,5
	60	$1108,3 \pm 18,1^{**}$	877,9	380,9	19,0
	90	$800,0 \pm 24,6^{***}$	586,4	274,5	13,7
	180	$725,9 \pm 11,0^*$	518,3	249,7	12,5
	300	$651,0 \pm 14,3^*$	452,9	228,5	11,4
	600	$750,7 \pm 14,0^*$	548,9	272,0	13,6

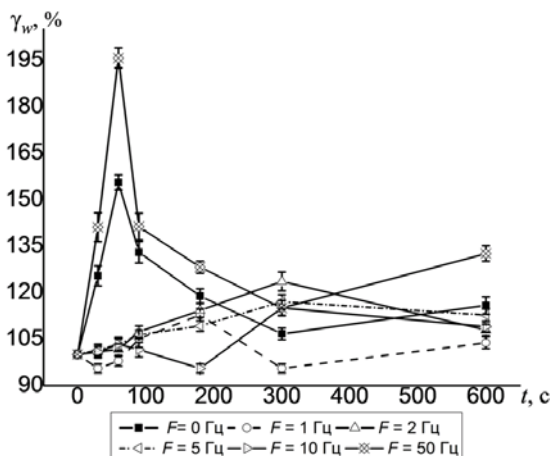


Рис. 4.6. Зависимость величины стимулирующего действия (γ_w) НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) по критерию массы 50-суточной молодежи гибрида С.БС от времени экспозиции (t) и частоты модуляции (F)

Значительное увеличение средней массы наблюдается также и при других режимах воздействия: при $F = 0$ Гц, $t = 60$ с – $W = 881,1 \pm 13,6$ мг, эффект стимуляции $\gamma_w = 155,6 \pm 2,4$ %. Следует отметить снижение эффекта стимуляции относительно контроля при $F = 1$ Гц, $t = 300$ с ($\gamma_w = 95,5 \pm 1,5$ %).

Средняя длина и прирост молодежи. Проведенные исследования показали, что кратковременное воздействие на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития (стадия появления глазных выростов и утолщения переднего конца выделительной системы) НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времени экспозиции) приводит к достоверному увеличению длины 30-суточной молодежи (табл. 4.10).

Если в контрольной группе, особи которой получены из необлученной икры, средняя длина 30-суточной молодежи составила $L = 29,1 \pm 0,2$ мм, то для группы рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию модулированного лазерного излучения ($F = 50$ Гц) в течение $t = 60$ с, $L = 40,7 \pm 0,3$ мм. То есть при указанном варианте облучения отмечается достоверный ($P < 0,001$) эффект стимуляции (превышение над контролем) размерно-весовых показателей по критерию

длины $\gamma_l = 139,7 \pm 0,9 \%$ (рис. 4.7). В этой группе воздействия абсолютный прирост длины составил $La = 26,8$ мм (превышение контрольного значения на 75,2 %), относительный прирост $Lo = 193,9 \%$ (превышение контрольного значения на 75,6 %), относительный среднесуточный прирост $Lc = 10,2 \%$ (превышение контрольного значения на 75,9 %).

Таблица 4.10. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на среднюю длину и прирост 30-суточной молоди гибрида С.БС (n = 160)

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	L , мм ($M \pm m$)	Прирост		
			La , мм	Lo , %	Lc , %
1	2	3	4	5	6
Контроль	0	$29,1 \pm 0,2$	15,3	110,4	5,8
$F = 0$ Гц	30	$32,3 \pm 0,3^*$	18,4	133,1	7,0
	60	$34,0 \pm 0,1^*$	20,1	145,3	7,6
	90	$31,8 \pm 0,2^*$	17,9	129,5	6,8
	180	$31,1 \pm 0,3^*$	17,3	124,7	6,6
	300	$28,7 \pm 0,1$	14,8	107,2	5,6
	600	$31,6 \pm 0,3^*$	17,7	128,2	6,7
$F = 1$ Гц	30	$29,4 \pm 0,2$	15,5	112,3	5,9
	60	$29,8 \pm 0,1^*$	15,9	115,1	6,1
	90	$30,8 \pm 0,1$	16,9	122,2	6,4
	180	$32,2 \pm 0,1^*$	18,3	132,3	7,0
	300	$30,4 \pm 0,2^*$	16,5	119,5	6,3
	600	$29,3 \pm 0,2$	15,4	111,5	5,9
$F = 2$ Гц	30	$29,7 \pm 0,2^*$	15,9	114,9	6,1
	60	$31,4 \pm 0,2^*$	17,6	127,2	6,7
	90	$32,2 \pm 0,3$	18,3	132,5	7,0
	180	$33,3 \pm 0,2^*$	19,4	140,3	7,4
	300	$35,2 \pm 0,3^{**}$	21,3	154,0	8,1
	600	$31,0 \pm 0,2$	17,2	123,9	6,5
$F = 5$ Гц	30	$30,4 \pm 0,2$	16,5	119,4	6,3
	60	$33,0 \pm 0,2^*$	19,1	138,3	7,3
	90	$33,9 \pm 0,2^*$	20,1	144,9	7,6
	180	$34,7 \pm 0,2$	20,9	150,8	7,9
	300	$36,0 \pm 0,4^*$	22,2	160,9	8,4
	600	$36,0 \pm 0,4^*$	22,2	160,3	8,4
$F = 10$ Гц	30	$29,5 \pm 0,2$	15,6	112,9	5,9
	60	$29,9 \pm 0,2^*$	16,0	115,8	6,1
	90	$28,8 \pm 0,2$	15,0	108,2	5,7
	180	$27,8 \pm 0,2^{**}$	14,0	101,0	5,3
	300	$34,9 \pm 0,3^*$	21,1	152,3	8,0
	600	$31,8 \pm 0,2^*$	17,9	129,5	6,8

1	2	3	4	5	6
$F = 50 \text{ Гц}$	30	$33,7 \pm 0,3^*$	19,8	143,4	7,5
	60	$40,7 \pm 0,3^{***}$	26,8	193,9	10,2
	90	$37,5 \pm 0,4^*$	23,6	170,9	9,0
	180	$34,6 \pm 0,3^*$	20,8	150,2	7,9
	300	$34,5 \pm 0,4^{**}$	20,6	148,9	7,8
	600	$34,7 \pm 0,3$	20,8	150,4	7,9

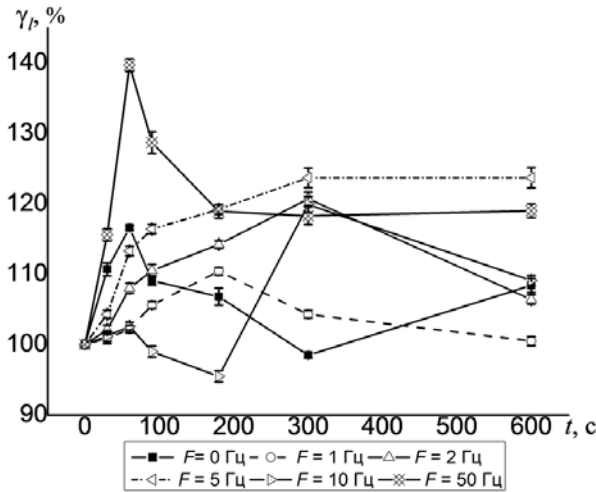


Рис. 4.7. Зависимость величины стимулирующего действия (γ_l) НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02 \text{ мкм}$, $P = 2,9 \pm 0,2 \text{ мВт/см}^2$) по критерию длины 30-суточной молоди гибрида С.БС от времени экспозиции (t) и частоты модуляции (F)

Значительное увеличение средней длины наблюдается также и при других режимах воздействия. Например, при непрерывном режиме воздействия ($F = 0 \text{ Гц}$) и при времени экспозиции $t = 60 \text{ с}$ – $L = 34,0 \pm 0,10 \text{ мм}$ ($\gamma_l = 116,6 \pm 0,34 \%$); при $F = 5 \text{ Гц}$, $t = 600 \text{ с}$ – $L = 36,0 \pm 0,42 \text{ мм}$ ($\gamma_l = 123,7 \pm 1,44 \%$). В то же время отмечено снижение эффекта стимуляции относительно контрольного значения: при $F = 0 \text{ Гц}$, $t = 300 \text{ с}$ происходило снижение средней длины 30-суточной молоди – $L = 28,7 \pm 0,1 \text{ мм}$ ($\gamma_l = 98,5 \pm 0,4 \%$); при $F = 10 \text{ Гц}$, $t = 180 \text{ с}$ – $L = 27,8 \pm 0,2 \text{ мм}$ ($\gamma_l = 95,5 \pm 0,8 \%$).

Кратковременное воздействие на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз (времени облучения) приводит к достоверному увеличению длины 50-суточной молоди (табл. 4.11).

Если в контрольной группе средняя масса 50-суточной молоди составила $L = 47,0 \pm 0,5$ мм, то для группы рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию модулированного ($F = 50$ Гц) излучения в течение $t = 60$ с, $L = 61,5 \pm 1,0$ мм. То есть при указанном варианте облучения отмечается достоверный ($P < 0,001$) эффект стимуляции (превышение над контролем) размерно-весовых показателей по критерию длины $\gamma_l = 130,9 \pm 2,0$ % (рис. 4.8). В этой группе воздействия абсолютный прирост массы составил $La = 20,8$ мм (превышение контрольного значения на 16,2 %), относительный прирост $Lo = 51,2$ % (ниже контрольного значения на 16,5 %), относительный среднесуточный прирост $Lc = 2,6$ % (ниже контрольного значения на 16,1 %).

Таблица 4.11. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на среднюю длину и прирост 50-суточной молоди гибрида С.БС (n = 140)

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	L , мм ($M \pm m$)	Прирост		
			La , мм	Lo , %	Lc , %
1	2	3	4	5	6
Контроль	0	$47,0 \pm 0,5$	17,9	61,3	3,1
$F = 0$ Гц	30	$52,9 \pm 0,6^*$	20,7	64,1	3,2
	60	$58,8 \pm 0,5^{***}$	24,8	73,2	3,7
	90	$54,2 \pm 0,5^*$	22,4	70,6	3,5
	180	$49,7 \pm 0,5^*$	18,6	60,0	3,0
	300	$48,0 \pm 0,4$	19,3	67,3	3,4
	600	$50,1 \pm 0,5^*$	18,5	58,5	2,9
$F = 1$ Гц	30	$47,1 \pm 0,3$	17,7	60,3	3,0
	60	$47,6 \pm 0,4$	17,8	59,9	3,0
	90	$48,8 \pm 0,3^{**}$	18,1	58,8	2,9
	180	$52,0 \pm 0,3^{***}$	19,9	61,8	3,1
	300	$46,0 \pm 0,3$	15,6	51,4	2,6
	600	$47,8 \pm 0,5$	18,5	63,1	3,2
$F = 2$ Гц	30	$47,4 \pm 0,3$	17,6	59,3	3,0
	60	$49,5 \pm 0,4^{***}$	18,1	57,5	2,9
	90	$51,7 \pm 0,4^{**}$	19,5	60,5	3,0
	180	$54,7 \pm 0,3$	21,4	64,4	3,2
	300	$56,7 \pm 0,3^{***}$	21,6	61,3	3,1
	600	$51,4 \pm 0,5$	20,4	65,9	3,3

1	2	3	4	5	6
$F = 5 \text{ Гц}$	30	$47,0 \pm 0,3$	16,7	54,8	2,7
	60	$48,4 \pm 0,6$	15,4	46,6	2,3
	90	$49,5 \pm 0,5^{**}$	15,6	46,1	2,3
	180	$50,0 \pm 0,3^{***}$	15,3	44,0	2,2
	300	$53,5 \pm 0,4^*$	17,5	48,6	2,4
	600	$52,8 \pm 0,6$	16,8	46,5	2,3
$F = 10 \text{ Гц}$	30	$47,1 \pm 0,3$	17,6	59,7	3,0
	60	$47,3 \pm 0,4$	17,5	58,5	2,9
	90	$46,6 \pm 0,4^*$	17,7	61,6	3,1
	180	$45,2 \pm 0,3^{**}$	17,3	62,3	3,1
	300	$52,9 \pm 0,3^{***}$	17,9	51,4	2,6
	600	$50,7 \pm 0,5$	19,0	59,7	3,0
$F = 50 \text{ Гц}$	30	$54,1 \pm 0,4^{**}$	20,4	60,6	3,0
	60	$61,5 \pm 1,0^{***}$	20,8	51,2	2,6
	90	$54,3 \pm 0,4^*$	16,8	44,9	2,2
	180	$50,9 \pm 0,6$	16,3	47,1	2,4
	300	$50,6 \pm 0,3$	16,1	46,8	2,3
	600	$52,0 \pm 0,4^{**}$	17,4	50,1	2,5

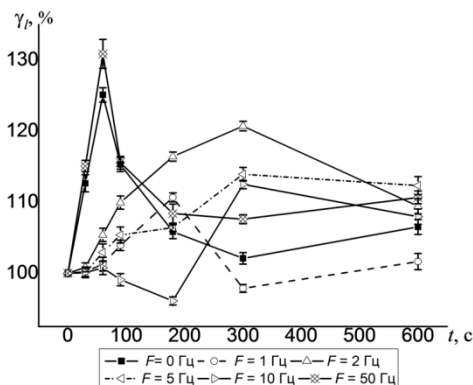


Рис. 4.8. Зависимость величины стимулирующего действия (γ_l) НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02 \text{ мкм}$, $P = 2,9 \pm 0,2 \text{ мВт/см}^2$) по критерию длины 50-суточной молоди гибрида С.БС от времени экспозиции (t) и частоты модуляции (F)

Значительное увеличение средней длины наблюдается также и при других режимах воздействия, например, при $F = 0 \text{ Гц}$ $t = 60 \text{ с}$, $L = 58,8 \pm 0,5 \text{ мм}$, эффект стимуляции $\gamma_l = 125,1 \pm 1,0 \%$. Хотя отмечено снижение эффекта стимуляции относительно контроля при $F = 1 \text{ Гц}$,

$t = 300$ с ($\gamma_l = 97,9 \pm 0,6$ %); при $F = 10$ Гц, $t = 180$ с ($\gamma_l = 96,1 \pm 0,6$ %).

Следует обратить внимание на закономерность, которая наблюдалась в лучшей опытной группе по размерно-весовым показателям (параметры воздействующего излучения $F = 50$ Гц, $t = 60$ с). До 30-суточного возраста у личинок и молоди этой опытной группы наблюдалось резкое увеличение длины, о чем говорят высокие значения относительного прироста (Lo) и относительного среднесуточного прироста (Lc) (превышение контрольных значений на 75,6 и 75,9 % соответственно). В период от 30- до 50-суточного возраста на фоне лучшего показателя средней длины ($L = 61,5 \pm 1,0$ мм) и абсолютного прироста ($La = 20,8$ мм) наблюдалось снижение величины Lo на 16,5 % и Lc на 16,1 %.

У молоди осетровых рыб скорость роста является функцией не времени, а достигнутого организмом размера [33]. В процессе раннего онтогенеза рыб выделено два основных типа роста: экспоненциальный рост, происходящий с постоянной скоростью, и параболический рост, в процессе которого скорость роста замедляется [43]. Поэтому снижение величины Lo и Lc , относительно контрольного значения в период от 30- до 50-суточного возраста у молоди, эмбрионы которой подвергались воздействию ИК излучения, объясняется тем, что показатель средней длины описываемой группы по причине более интенсивного роста раньше достиг фазы перехода из экспоненциального роста в параболический рост, в отличие от контрольной группы, где экспоненциальный рост продолжался минимум до 50-суточного возраста.

Удельная скорость роста, коэффициент упитанности и линейно-соматический критерий молоди. Удельная скорость роста по критерию массы является одинаковой или незначительно изменяется в опытных группах по отношению к контрольному значению. Однако в группах молоди, на эмбрионы которой воздействовали ИК излучением в непрерывном ($F = 0$ Гц) и модулированном режиме ($F = 50$ Гц), наблюдается увеличение указанного параметра. Так при $F = 0$ Гц и $t = 60$ с удельная скорость роста по критерию массы составила $C_w = 6,6$ % (в контроле 5,6 %), при $F = 50$ Гц и $t = 60$ с – $C_w = 7,9$ % (табл. 4.12).

Удельная скорость роста по критерию длины в указанных приоритетных опытных группах или находится ниже контрольного значения, например, при $F = 50$, $t = 60$ с – $C_L = 2,1$ % (в контроле 2,4 %), или незначительно превышает таковое – при $F = 0$ Гц, $t = 60$ с – $C_L = 2,7$ %.

Значения коэффициента упитанности (K_y) и линейно-соматического критерия (ЛСК) в указанных опытных группах ниже контрольных значений.

Причины такого результата, когда на фоне превышения в опытной группе (параметры воздействия $F = 50$ Гц, $t = 60$ с) контрольных значений средней массы на 95,7 % и средней длины на 30,9 % значения K_y и ЛСК значительно ниже таковых в контрольной группе, объясняются интенсивным ростом как массы, так и длины, который происходит под воздействием ИК излучения.

Таблица 4.12. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на удельную скорость роста, коэффициент упитанности и линейно-соматический критерий 50-суточной молоди гибрида С.БС

Частота модуляции F , Гц	Время облучения, с	K_y	ЛСК	C_w , %	C_l , %
1	2	3	4	5	6
Контроль	0	0,55	8,30	5,6	2,4
$F = 0$ Гц	30	0,48	7,46	6,0	2,5
	60	0,43	6,67	6,6	2,7
	90	0,47	7,19	6,4	2,7
	180	0,55	7,39	6,0	2,3
	300	0,55	7,95	6,1	2,6
	600	0,52	7,63	5,7	2,3
$F = 1$ Гц	30	0,52	8,71	5,4	2,4
	60	0,51	8,59	5,2	2,3
	90	0,51	8,21	5,4	2,3
	180	0,45	8,15	5,5	2,4
	300	0,56	8,51	5,2	2,1
	600	0,54	8,13	5,7	2,4
$F = 2$ Гц	30	0,54	8,29	5,6	2,3
	60	0,47	8,61	5,5	2,3
	90	0,44	8,50	5,5	2,4
	180	0,39	8,46	5,5	2,5
	300	0,38	8,11	5,5	2,4
	600	0,45	8,42	5,6	2,5
$F = 5$ Гц	30	0,55	8,18	5,5	2,2
	60	0,52	8,28	5,2	1,9
	90	0,50	8,22	5,2	1,9
	180	0,49	8,09	5,3	1,8
	300	0,43	8,08	5,5	2,0
	600	0,43	8,27	5,4	1,9

1	2	3	4	5	6
$F = 10 \text{ Гц}$	30	0,55	8,25	5,7	2,3
	60	0,55	8,09	5,6	2,3
	90	0,57	8,10	5,7	2,4
	180	0,59	8,35	5,6	2,4
	300	0,44	8,11	5,6	2,1
	600	0,47	8,22	5,3	2,3
$F = 50 \text{ Гц}$	30	0,50	6,77	6,8	2,4
	60	0,48	5,55	7,9	2,1
	90	0,50	6,79	6,6	1,9
	180	0,55	7,02	6,3	1,9
	300	0,50	7,77	5,9	1,9
	600	0,53	6,93	6,6	2,0

Таким образом, в результате исследований влияния НИЛИ ИК области спектра на размерно-весовые показатели 30- и 50-суточной молоди осетровых рыб установлено, что изучаемый физический фактор способен оказывать стимулирующее действие на массу и длину молоди в зависимости от режима модуляции и времени экспозиции. Максимальный стимулирующий эффект наблюдается при непрерывном режиме ($F = 0 \text{ Гц}$) и времени экспозиции $t = 60 \text{ с}$ (увеличение средней массы 50-суточной молоди на 55,6 %, средней длины на 25,1 %), а также при модулированном режиме ($F = 50 \text{ Гц}$) и времени экспозиции $t = 60 \text{ с}$ (увеличение средней массы 50-суточной молоди на 95,7 %, средней длины на 30,9 %). На основании показателей прироста можно утверждать, что у опытных групп происходит более ранняя смена экспоненциального роста на параболический, чем у контрольной группы, т. е. в результате воздействия НИЛИ ИК области спектра у личинок и молоди раньше начинаются процессы адаптации и формирования всех систем организма, что будет способствовать повышению качества подрощенного рыбопосадочного материала и его устойчивости к экстремальным показателям водной среды.

Жизнестойкость молоди. Известно [97], что резкие перепады температуры и дефицит кислорода сами по себе оказывают мощное отрицательное влияние на рост и развитие, численность и продуктивность различных видов рыб и их кормовых организмов. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на изучение пределов устойчивости гидробионтов к экстремальным значениям экологических факторов водной среды (кислород и температура), а также разработка способов увеличения пределов толерантности, для чего необхо-

димо обращение к эффективным технологиям, не оказывающим на биологические системы побочных патогенных воздействий [161].

Наиболее традиционным способом оценки качества молоди осетровых и лососевых рыб, выращенной на рыбоводных заводах, является ее размерно-весовая характеристика. В индустриальном осетроводстве долгое время шла дискуссия о стандарте заводской молоди. Ряд исследователей считал, что стандартную навеску заводской молоди осетровых рыб можно снизить до 1–2 г, поскольку мальки такой массы уже прошли начальные этапы развития и имеют хорошо развитые наружные приспособления – жучки [121]. Другие предлагали выращивать молодь до более высоких навесок (3 г и выше), так как крупная молодь менее доступна для хищников и возрастает вероятность ее выживания в естественном водоеме [99].

По данным В. И. Лукьяненко с соавторами [97], масса и не может адекватно характеризовать качество выращенной молоди, ее биологическую полноценность, в основе которой лежит физиолого-биохимическая сформированность организма, определяющая возможности его адаптации к абиотическим и биотическим факторам водной среды, их резким изменениям, которые неизбежно возникают при смене среды обитания молоди, выращенной на заводах. Под качеством заводской молоди осетровых рыб следует понимать степень ее жизнестойкости, т. е. устойчивости к разнообразным факторам внешней среды. Основным критерием оценки заводской молоди должен быть оптимальный уровень ее жизнестойкости.

Для оценки влияния НИЛИ на качество молоди осетровых рыб, а именно на уровень ее жизнестойкости, мы пользовались методом функциональных нагрузок [172] и тестом на устойчивость к токсикантам [195]. Экологический метод функциональных нагрузок включал в себя тесты на устойчивость к дефициту кислорода, терморезистентность, устойчивость к голоданию.

Оксирезистентность. Концентрация растворенного кислорода – важнейший фактор водной среды, который как в искусственных условиях, так и в условиях заводского подраживания молоди рыб подвержен значительным колебаниям. В случае дефицита растворенного в воде кислорода у заводской молоди может наблюдаться ряд морфологических отклонений: уродства головы, микроцефалия (снижение размеров мозга), недоразвитость жабр, дефекты органов обоняния и др. Чаще всего такая рыба сильно отстает в размерно-весовых показателях от нормально развивающихся особей [42]. Более того, значительный

недостаток растворенного в воде кислорода способен вызвать массовую гибель молоди.

Проведенные исследования показали, что кратковременное воздействие на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области в определенном интервале интенсивностей и доз приводит к достоверному увеличению устойчивости 50-суточной молоди к дефициту кислорода (табл. 4.13).

Таблица 4.13. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на оксирезистентность 50-суточной молоди гибрида С.БС (n = 30)

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Пороговая концентрация кислорода $[O_2]$, мг/л
1	2	2
Контроль	0	$2,1 \pm 0,02$
$F = 0$ Гц	30	$1,6 \pm 0,02^{**}$
	60	$1,4 \pm 0,01^{***}$
	90	$1,7 \pm 0,03^{**}$
	180	$1,8 \pm 0,02^{***}$
	300	$2,1 \pm 0,02$
	600	$2,0 \pm 0,01$
$F = 1$ Гц	30	$2,1 \pm 0,01$
	60	$2,0 \pm 0,02^*$
	90	$1,9 \pm 0,01^*$
	180	$1,8 \pm 0,02^{***}$
	300	$1,9 \pm 0,02$
	600	$2,1 \pm 0,02^*$
$F = 2$ Гц	30	$2,1 \pm 0,03$
	60	$2,0 \pm 0,01$
	90	$2,1 \pm 0,01^*$
	180	$2,0 \pm 0,02$
	300	$1,7 \pm 0,04^{***}$
	600	$2,0 \pm 0,03$
$F = 5$ Гц	30	$1,9 \pm 0,03^*$
	60	$1,9 \pm 0,02$
	90	$2,0 \pm 0,01^*$
	180	$2,0 \pm 0,03$
	300	$1,6 \pm 0,04^{***}$
	600	$1,8 \pm 0,02^*$
$F = 10$ Гц	30	$2,0 \pm 0,01^*$
	60	$1,8 \pm 0,02^{***}$
	90	$1,9 \pm 0,03$
	180	$1,9 \pm 0,02^{**}$
	300	$1,9 \pm 0,01$
	600	$2,0 \pm 0,02^*$

1	2	3
$F = 50 \text{ Гц}$	30	$1,8 \pm 0,02$
	60	$1,6 \pm 0,05^{***}$
	90	$1,7 \pm 0,04$
	180	$2,0 \pm 0,03^*$
	300	$1,9 \pm 0,03$
	600	$1,8 \pm 0,04^{**}$

Если в контрольной группе пороговая концентрация кислорода, при которой наблюдается гибель молоди осетровых рыб, составляет $[O_2]_к = 2,1 \pm 0,02 \text{ мг/л}$, то для группы рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию непрерывного лазерного излучения ($F = 0 \text{ Гц}$) в течение $t = 60 \text{ с}$, $[O_2]_о = 1,4 \pm 0,01 \text{ мг/л}$ ($P < 0,001$). То есть гибель молоди, эмбрионы которой подверглась воздействию лазерного излучения, наблюдается при более низкой концентрации, чем у необлученных особей, при этом эффект стимуляции (превышение над контролем) составил $\gamma O_2 = 152,4 \pm 0,56 \%$ (рис. 4.9).

Как показали последующие измерения (рис. 4.9) при варьировании различных параметров излучения данной длины волны ($\lambda = 0,81 \pm 0,02 \text{ мкм}$), непрерывное воздействие при $t = 60 \text{ с}$ является оптимальным для повышения оксирезистентности. Увеличение или уменьшение времени воздействия в непрерывном режиме приводит к снижению величины стимуляции. Так, при времени воздействия $t = 30 \text{ с}$ стимулирующий эффект составляет $\gamma O_2 = 129,7 \pm 3,1 \%$, а при $t = 90 \text{ с} - \gamma O_2 = 126,7 \pm 3,0 \%$.

При оптимальных условиях воздействия ($\lambda = 0,81 \pm 0,02 \text{ мкм}$, $P = 2,9 \pm 0,2 \text{ мВт/см}^2$, $F = 0 \text{ Гц}$, $t = 60 \text{ с}$) пороговая концентрация растворенного кислорода, вызывающая гибель мальков, примерно в 1,5 раза ниже, чем для контрольной группы. Экспериментально это проявляется в более медленной кинетике потребления растворенного в воде кислорода в опытной группе на стадии, предшествующей началу гибели мальков, когда количество особей в контрольной и опытной группах еще не отличается. Таким образом, можно констатировать снижение потребления кислорода молодью рыб, оплодотворенная икра которых подверглась кратковременному лазерному воздействию.

Как показывают результаты, изложенные выше (см. табл. 4.8–4.11), размерно-весовые показатели молоди опытной группы превышают таковые для контрольного варианта. Поэтому наблюдаемое снижение потребления кислорода в опытной группе не может объясняться фото-

индуцированным торможением физиологического развития молоди. По всей видимости, пролонгированное действие НИЛИ, проявляющееся через 50 суток после процедуры облучения эмбрионов, обусловлено его влиянием на метаболические процессы в их организме. На способность лазерного излучения вызывать коррекцию эмбрионального развития осетровых рыб указывает, в частности, значительное сокращение в опытной группе (по сравнению с контрольной) особей с аномальными морфологическими признаками (см. табл. 4.1–4.3).

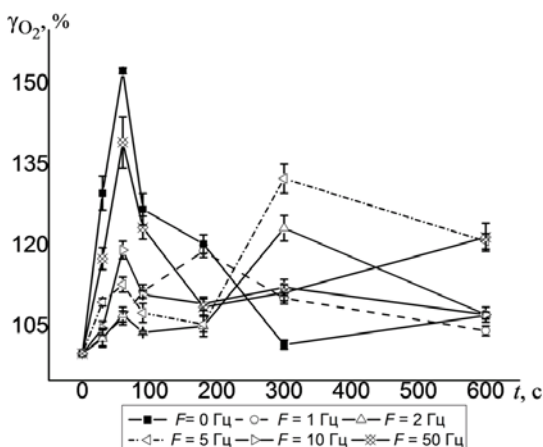


Рис. 4.9. Зависимость величины стимулирующего действия (γ_{O_2}) НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) по критерию оксирезистентности 50-суточной молоди гибрида С.БС от времени экспозиции (t) и частоты модуляции (F)

Полученные данные позволяют также сделать вывод о снижении расхода кислорода, потребляемого на единицу массы тела молоди для особей, эмбрионы которых подвергались воздействию лазерного излучения при оптимальной дозировке. Указанный, казалось бы, парадоксальный результат находит свое подтверждение и в работах других авторов [37, 82]. Так, А. С. Константинов с соавторами [37, 82] утверждал, что количество потребленного кислорода далеко не всегда можно рассматривать как показатель скорости различных метаболических процессов, в частности роста. Процесс увеличения размерно-весовых показателей может протекать интенсивно и при очень небольшой скорости потребления кислорода, если энергия его восстановления будет

эффективно трансформироваться в энергию макроэргических связей метаболитов. И, наоборот, высокая скорость дыхания может не сопровождаться запасанием энергии и не означать активацию метаболизма, в частности функцию роста. Принято считать, что одним из основных критериев оптимального развития организмов является минимизация энергозатрат на обеспечение активного протекания всех жизненных функций. В этом плане полученные нами данные по влиянию лазерного излучения на эмбриональное развитие рыб позволяют предположить, что его стимулирующее действие может быть связано с активацией биосинтетических процессов – усилением в митохондриях синтеза аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), ответственной за энергообеспечение клеток и органов, а также с активацией защитных систем организма молоди осетровых рыб [178].

Известно, что на конечный результат установления пороговой концентрации кислорода, ниже которой невозможна жизнь, оказывает влияние способность рыб приспосабливаться к недостатку кислорода, т. е. способность изменять обмен поступления кислорода [170]. Вероятно, что молодь, эмбрионы которой подвергались воздействию лазерного излучения, отличается способностью приспосабливаться к недостатку кислорода, а также более эффективно перестраивать метаболизм на анаэробный путь окисления в условиях гипоксии [97].

Таким образом, воздействие на эмбрионы НИЛИ ИК области спектра способно повысить оксирезистентность 50-суточной молоди. Максимальный стимулирующий эффект наблюдается при непрерывном режиме ($F = 0$ Гц) и времени экспозиции $t = 60$ с (повышение устойчивости к дефициту кислорода на 52,4 % – $P < 0,001$), а также при модулированном режиме ($F = 50$ Гц) и времени экспозиции $t = 60$ с (повышение устойчивости к дефициту кислорода на 39,2 % – $P < 0,001$). Полученные данные позволяют также сделать вывод о снижении расхода кислорода, потребляемого на единицу массы тела молоди для особей, эмбрионы которых подвергались воздействию лазерного излучения при оптимальной дозировке.

Терморезистентность. Температура водной среды уже в течение длительного периода признается ключевым экологическим фактором управления ростом и воспроизводством рыбы [263, 371]. Температурный режим оказывает влияние на физиологическое состояние молоди осетровых на всех этапах ее выращивания в заводских условиях, и, в первую очередь, во время длительной задержки молоди в прудах, когда он подвержен значительным колебаниям [97].

Таблица 4.14. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на терморезистентность 50-суточной молодежи гибрида С.БС (n = 30)

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Время до наступления летального исхода t , мин
Контроль	0	145,3 $\pm$ 1,1
$F = 0$ Гц	30	160,2 $\pm$ 2,0
	60	220,0 $\pm$ 1,6***
	90	196,5 $\pm$ 3,2
	180	171,5 $\pm$ 1,3*
	300	151,8 $\pm$ 1,5*
	600	140,2 $\pm$ 0,9
$F = 1$ Гц	30	154,2 $\pm$ 2,0
	60	162,0 $\pm$ 1,7*
	90	163,3 $\pm$ 2,6
	180	196,5 $\pm$ 3,0***
	300	145,7 $\pm$ 1,5
	600	141,8 $\pm$ 2,0
$F = 2$ Гц	30	145,3 $\pm$ 1,6*
	60	145,7 $\pm$ 2,5
	90	155,0 $\pm$ 2,5*
	180	157,7 $\pm$ 3,4*
	300	178,2 $\pm$ 4,1***
	600	145,3 $\pm$ 1,9
$F = 5$ Гц	30	145,3 $\pm$ 2,7
	60	154,2 $\pm$ 2,1*
	90	156,3 $\pm$ 2,3
	180	161,3 $\pm$ 3,5
	300	167,2 $\pm$ 3,6**
	600	167,8 $\pm$ 2,3***
$F = 10$ Гц	30	152,0 $\pm$ 2,6*
	60	163,2 $\pm$ 4,1**
	90	161,2 $\pm$ 2,8
	180	146,0 $\pm$ 1,7
	300	192,7 $\pm$ 4,0***
	600	177,8 $\pm$ 2,6*
$F = 50$ Гц	30	145,7 $\pm$ 1,5
	60	307,0 $\pm$ 3,5***
	90	197,3 $\pm$ 2,7
	180	182,9 $\pm$ 6,5*
	300	163,2 $\pm$ 2,2
	600	153,8 $\pm$ 1,5**

Проведенные исследования показали, что кратковременное воздействие на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК

области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз приводит к достоверному увеличению терморезистентности 50-суточной молоди (табл. 4.14).

Если в контрольной группе средняя продолжительность выживания 50-суточной молоди при действии экстремальной температуры составила $t_k = 145,3 \pm 1,1$ мин, то в группе рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию непрерывного лазерного излучения ($F = 0$ Гц), $t = 60$ с, $t_0 = 220,0 \pm 1,6$ мин ($P < 0,001$). Стимулирующий эффект в этом варианте воздействия составил $\gamma_t = 151,4 \pm 0,6$ % (рис. 4.10). Переход в режим модуляции с частотой $F = 50$ Гц и временем экспозиции $t = 60$ с сопровождается еще более выраженной величиной стимуляции: $t_0 = 307,0 \pm 3,5$ мин, то есть $\gamma_t = 211,3 \pm 2,4$ % ($P < 0,001$). При других частотах модуляции ($F =$ от 1 до 10 Гц) стимулирующий эффект по отношению к контрольной группе был менее выраженным.

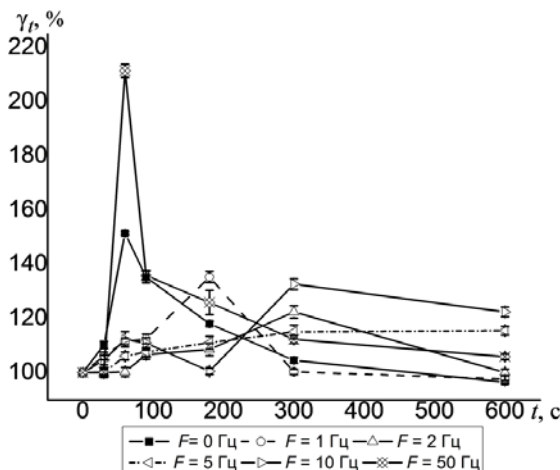


Рис. 4.10. Зависимость величины стимулирующего действия (γ_t) НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) по критерию терморезистентности 50-суточной молоди гибрида С.БС от времени экспозиции (t) и частоты модуляции (F)

Таким образом, молодь, полученная из облученной икры, характеризуется более высокой устойчивостью к воздействию экстремальной температуры 32 °С: параметры терморезистентности повышаются в результате кратковременного воздействия ($t = 60$ с) модулированного

($F = 50$ Гц) лазерного излучения более чем в 2,1 раза. Поскольку устойчивость живых организмов к разнообразным факторам внешней среды является интегральным показателем, то это свидетельствует о более высокой степени физиологической сформированности организма в целом [97].

Устойчивость к голоданию. Устойчивость заводской молоди осетровых рыб к голоданию является одним из параметров оценки качества всей технологии подращивания [97].

Проведенные исследования показали, что кратковременное воздействие на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз приводит к достоверному увеличению устойчивости в голоданию 50-суточной молоди (табл. 4.15).

Таблица 4.15. Влияние НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) на устойчивость к голоданию 50-суточной молоди гибрида С.БС (n = 30)

Частота модуляции F , Гц	Время облучения t , с	Время до наступления летального исхода t , ч
1	2	3
Контроль	0	$307,0 \pm 1,1$
$F = 0$ Гц	30	$311,3 \pm 0,9^*$
	60	$361,8 \pm 2,8^{**}$
	90	$315,2 \pm 1,4^*$
	180	$310,7 \pm 0,5$
	300	$311,0 \pm 0,6$
	600	$310,0 \pm 0,5$
$F = 1$ Гц	30	$307,0 \pm 0,9$
	60	$308,5 \pm 1,0$
	90	$307,0 \pm 0,6$
	180	$320,2 \pm 1,1^*$
	300	$307,0 \pm 0,8$
	600	$307,3 \pm 1,4$
$F = 2$ Гц	30	$307,0 \pm 1,4$
	60	$307,0 \pm 0,7$
	90	$307,0 \pm 0,8$
	180	$311,0 \pm 0,9$
	300	$316,3 \pm 1,2^*$
	600	$312,2 \pm 1,2$
$F = 5$ Гц	30	$308,7 \pm 0,9$
	60	$310,3 \pm 0,7$
	90	$312,7 \pm 1,0^*$
	180	$313,2 \pm 0,8$
	300	$311,2 \pm 1,4$
	600	$307,3 \pm 1,4$

1	2	3
$F = 10 \text{ Гц}$	30	$307,0 \pm 1,9$
	60	$308,5 \pm 1,0$
	90	$308,0 \pm 0,9$
	180	$305,7 \pm 0,7$
	300	$317,2 \pm 1,2^*$
	600	$307,3 \pm 1,4$
$F = 50 \text{ Гц}$	30	$337,7 \pm 4,5^*$
	60	$389,0 \pm 3,1^{***}$
	90	$346,8 \pm 4,4^{**}$
	180	$308,3 \pm 0,9$
	300	$308,2 \pm 1,0$
	600	$355,7 \pm 1,3$

Как следует из данных табл. 4.15, если в контрольной группе средняя продолжительность выживания 50-суточной молоди осетровых рыб в условиях полного отсутствия корма составила $HUN_k = 307,0 \pm 1,1$ ч, то в группе рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию непрерывного лазерного излучения ($F = 0 \text{ Гц}$) в течение $t = 60 \text{ с}$, $HUN_o = 361,8 \pm 2,8$ ч ($P < 0,01$). Стимулирующий эффект в этом варианте воздействия составил $\gamma_{hun} = 117,9 \pm 0,9 \%$ (рис. 4.11).

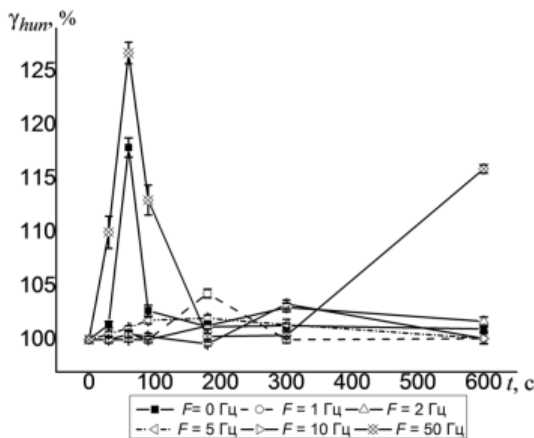


Рис. 4.11. Зависимость величины стимулирующего действия (γ_w) НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02 \text{ мкм}$, $P = 2,9 \pm 0,2 \text{ мВт/см}^2$) по критерию устойчивости к голоданию 50-суточной молоди гибрида С.БС от времени экспозиции (t) и частоты модуляции (F)

Переход в режим модуляции с $F = 50$ Гц и $t = 60$ с сопровождается еще более выраженной величиной стимуляции: $t_0 = 389,0 \pm 3,1$ ч, то есть $\gamma_{hun} = 126,7 \pm 1,0$ % ($P < 0,001$). При других частотах модуляции (1–10 Гц) стимулирующий эффект по отношению к контрольной группе был менее выраженным.

Таким образом, воздействие на эмбрионы осетровых рыб НИЛИ ИК области спектра способно повысить устойчивость 50-суточной молоди осетровых рыб к длительному голоданию. Максимальный стимулирующий эффект наблюдается при непрерывном режиме ($F = 0$ Гц) и времени экспозиции $t = 60$ с (повышение устойчивости к голоданию на 17,9 % – $P < 0,01$), а также при модулированной режиме ($F = 50$ Гц) и времени экспозиции $t = 60$ с (повышение устойчивости к голоданию на 26,7 % – $P < 0,001$).

Токсикорезистентность. Повышенное содержание в воде опасных химических соединений создает ряд проблем для рыбоводных предприятий. Особенно это касается участков получения и подращивания молоди рыб, так как эмбриональный, личиночный и мальковый периоды развития онтогенеза рыб являются наиболее уязвимыми и напрямую зависят от множества факторов, включая качество воды [195]. Вопросам ихтиотоксикологии и повышения устойчивости рыб к действию неблагоприятных факторов химической природы уделено внимание многих исследователей [267, 397]. Проводятся исследования по изучению летальных доз и предельно допустимых концентраций различных токсикантов [201], а также биологических механизмов воздействия [397]. При этом одним из перспективных направлений исследований в области повышения качества подращивания рыбопосадочного материала на специализированных предприятиях является использование различных методов, обладающих стимулирующим действием, в том числе токсикопротекторным [137].

Проведенные исследования показали, что воздействие на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития НИЛИ ИК области спектра в определенном интервале интенсивностей и доз способно оказывать стимулирующее действие на токсикорезистентность 50-суточной молоди осетровых рыб (рис. 4.12, $n = 30$). Так, если в контрольной (необлученной) группе процент выживания под действием токсиканта составил $\gamma_{tox} = 0$ %, то для группы рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию модулированного лазерного облучения с частотой 50 Гц в течение $t = 60$ с, выживаемость в условиях воздействия токсиканта составила $\gamma_{tox} = 68,9 \pm 6,7$ % ($P < 0,001$). То есть, выживаемость молоди

осетровых рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию оптического излучения, находится на более высоком уровне, чем у необлученных особей. Отметим, что при воздействии непрерывного режима излучения ($F = 0$ Гц) максимальное отличие от контроля составляет $\gamma_{tox} = 11,1 \pm 2,9 \%$ ($P < 0,01$) и наблюдается при $t = 60$ с.

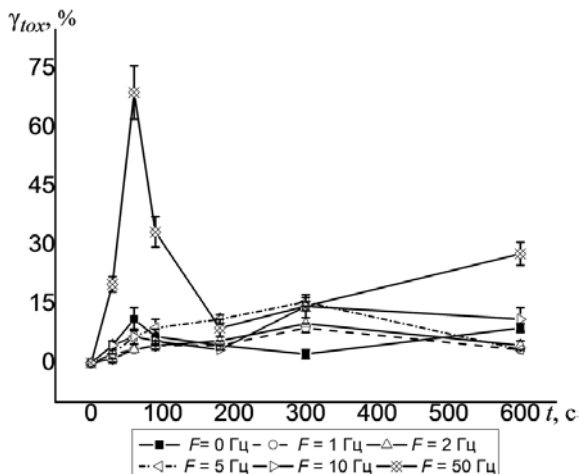


Рис. 4.12. Зависимость величины стимулирующего действия (γ_w) НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) по критерию токсикорезистентности 50-суточной молоди гибрида С.БС от времени экспозиции (t) и частоты модуляции (F)

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о способности НИЛИ ИК области спектра влиять на жизнестойкость молоди при кратковременном облучении их эмбрионов на 24-й стадии эмбрионального развития. Указанный эффект проявляется в значительном увеличении выживаемости при воздействии на них токсикантом (сульфат меди) в концентрации 0,1 мг/л в течение 7 суток. Так, при оптимальных условиях воздействия ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9$ мВт/см², $F = 50$ Гц, $t = 60$ с) токсикорезистентность примерно на 70 % выше, чем для контрольной группы.

Морфофизиологический состав крови молоди. Помимо целого ряда положительных свойств, которыми характеризуются индустриальные условия выращивания рыбы, высокие плотности посадки и искусственное кормление неизбежно ведут к существенному измене-

нию условий выращивания, увеличению стрессовых нагрузок на организм рыб и, как следствие, к ухудшению их физиологического состояния [186]. В современной практике рыбоводства физиологическое состояние рыб оценивают по множеству показателей, в том числе и по гематологическим.

Гематологические показатели тонко отражают реакцию кроветворных органов на воздействие различных физиологических и патологических факторов на организм [153]. Кровь является одной из самых динамичных систем организма, которая способствует осуществлению питания, дыхания всех органов, снабжает их гормонами, ферментами, витаминами и другими гуморальными веществами, без которых невозможно нормальное функционирование организма. Гемоглобин крови является главным звеном в обеспечении организма кислородом [170]. Высокое содержание гемоглобина способно обеспечить более высокую интенсивность обмена, с одной стороны, и более широкие адаптационные возможности для выживаемости в неблагоприятных условиях, с другой. Так, Е. А. Федосеева и С. С. Астафьева [186] в своих исследованиях показали, что молодь осетровых рыб, выращенная в условиях УЗВ, характеризуется низким содержанием гемоглобина. Возможно, это объясняется запаздыванием развития кроветворной системы на фоне интенсивного соматического роста. Это состояние называют ложной, или физиологической, анемией. Для этого характерно недостаточное насыщение эритроцитов гемоглобином. Вероятно, что высокое содержание кислорода в воде УЗВ (за счет оксигенации) позволяет обеспечивать метаболические процессы, активно протекающие в организме рыб. Поэтому низкие показатели гемоглобина не являются проблемой в случае дальнейшего товарного выращивания осетровых в УЗВ, но запаздывание в развитии кроветворной системы снизит качество молоди, предназначенной для зарыбления в естественные водоемы. Поэтому разработка методик, стимулирующих развитие кроветворной системы, улучшение основных показателей крови, а также других показателей, характеризующих жизнестойкость молоди осетровых рыб, являются актуальными.

Кровь стала предметом глубокого изучения сравнительно недавно, чему способствовали развитие медицинской и ветеринарной гематологии, разработка новых универсальных методов гематологического анализа, а также новая более совершенная классификация крови рыб, предложенная Н. Г. Ивановой [47, 62]. Наиболее часто используют морфофизиологические исследования крови, определяющие следую-

щие показатели: содержание гемоглобина (HGB), общее число эритроцитов (RBC), гематокритная величина (PCV). Кроме того, в современной медицинской и ихтиопатологической практике используют различные эритроцитарные индексы, позволяющие количественно характеризовать состояние эритроцитов. К ним относят среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH), средний объем эритроцита (MCV), среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците (MCHC). Эритроцитарные индексы важны для выявления гипо- и гиперхромазии, что, в основном у рыб, является следствием микро-, макро- и мегалоцитоза [47].

Из представленных данных (см. табл. 4.4–4.15, рис. 4.5–4.12) следует, что НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²) способно оказывать выраженное влияние на рыбоводно-биологические показатели молоди осетровых рыб при кратковременном воздействии на оплодотворенную икру. При этом наиболее благоприятным вариантом являются воздействия в непрерывном и модулированном ($F = 50$ Гц) режимах при времени экспозиции $t = 60$ с. В дальнейшем в этих опытных группах были проведены исследования морфологического состава крови 50-суточной молоди (табл. 4.16).

Таблица 4.16. Влияние оптимальных режимов НИЛИ ИК области спектра ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см²), на морфологический состав крови 50-суточной молоди гибрида С.БС (n = 5)

Показатели	Диапазон нормальных значений	Группы		
		Контроль	Опыт ($F = 0$ Гц, $t = 60$ с)	Опыт ($F = 50$ Гц, $t = 60$ с)
HGB, г/л	43,0–75,0	61,3 $\pm$ 1,3	69,9 $\pm$ 1,2**	74,0 $\pm$ 1,6**
PCV, %	19,0–33,0	25,0 $\pm$ 1,1	26,0 $\pm$ 0,9	31,0 $\pm$ 0,8**
RBC, $\times 10^{12}$	0,78–1,35	1,07 $\pm$ 0,04	1,38 $\pm$ 0,06**	1,30 $\pm$ 0,03***
MCHC, г/л	210,0–520,0	246,4 $\pm$ 6,7	269,5 $\pm$ 5,6*	238,9 $\pm$ 6,5
MCH, пг	50,0–107,0	57,5 $\pm$ 1,6	51,0 $\pm$ 2,1*	57,3 $\pm$ 2,8
MCV, мкм ³	146,0–245,0	233,7 $\pm$ 5,3	189,8 $\pm$ 9,9	239,4 $\pm$ 6,9

В результате проведенных исследований установлено, что у молоди, выращенной в условиях УЗВ, основные показатели красной крови входят в диапазон нормальных значений [28, 260, 289]. Однако в группах молоди, эмбрионы которой подвергались воздействию НИЛИ ИК области спектра в оптимальных дозировках, наблюдалось более высо-

кое содержание гемоглобина, гематокритной величины и эритроцитов, чем в контрольной группе. Так, у молоди в опытной группе, на эмбрионы которой осуществляли воздействие НИЛИ ИК области спектра в модулированном режиме ($F = 50$ Гц) и времени экспозиции $t = 60$ с, содержание основного компонента эритроцитов (гемоглобина) составило $-74,0 \pm 1,6$ г/л ($P < 0,01$), при этом объемная фракция эритроцитов в цельной крови (гематокрит) составила $-31,0 \pm 0,8$ % ($P < 0,01$), а количество эритроцитов – одного из наиболее важных показателей системы крови – $1,30 \pm 0,03 \times 10^{12}$ ($P < 0,001$), тогда как в контрольной группе эти показатели составили $61,3 \pm 1,3$ г/л, $25,0 \pm 1,1$ %, $1,07 \pm 0,04 \times 10^{12}$ соответственно.

Зависимость стимулирующего действия от времени экспозиции и частоты модуляции. Отдельного обсуждения заслуживает выявленная в настоящей работе зависимость биологического действия лазерного излучения от частоты модуляции. Как следует из данных, представленных в табл. 4.9; 4.11; 4.14; 4.15 и рис. 4.6; 4.8; 4.10; 4.11, при времени воздействия $t = 60$ с (оптимальном для непрерывного облучения) во всех исследованных группах модулированного воздействия с частотой $F = 1; 2; 5; 10$ Гц стимулирующий эффект значительно ниже, чем при облучении эмбрионов в непрерывном режиме. Однако при переходе к $F = 50$ Гц наблюдается повышение стимулирующего действия излучения по сравнению с непрерывным или другими вариантами модулированного облучения при $t = 60$ с. При этом, например, показатели массы особей, полученных из облученной икры, а также параметры их терморезистентности увеличиваются приблизительно в 2 раза по сравнению с молодью контрольных групп. То есть использование модулированного воздействия ($F = 50$ Гц) позволяет значительно повысить биологическую активность лазерного излучения. Критическим параметром, определяющим зависимость фотобиологического эффекта от частоты модуляции, является длительность периода (паузы) между импульсами. Типичные осциллограммы временной развертки для непрерывного и модулированного по интенсивности излучения полупроводникового лазера «Сенс 815» представлены на рис. 4.13.

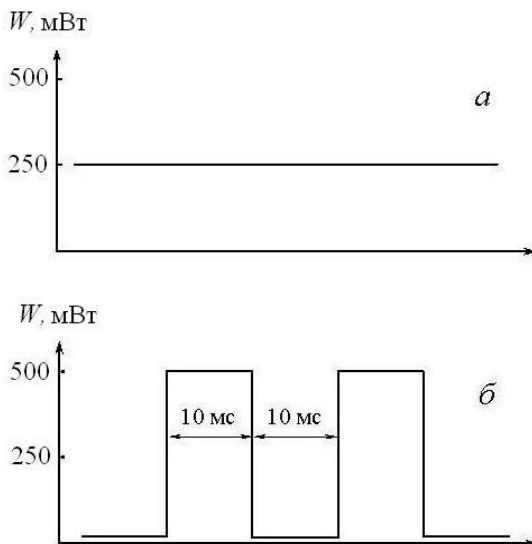


Рис. 4.13. Осциллограммы временной развертки излучения полупроводникового лазера «Сенс 815», непрерывного (а) и модулированного по интенсивности (б)

Как видно из рис. 4.13, при одинаковой средней мощности лазерного излучения ($W = 250 \pm 5 \text{ мВт}$) амплитудное значение мощности W_a в случае модуляции излучения примерно в 2 раза выше такового для непрерывного излучения. При этом глубина модуляции излучения составляет $> 95 \%$, а скважность $Q = T/\tau = 2$ (T – период, τ – длительность импульса). При низкой частоте следования импульсов ($F = 1\text{--}2 \text{ Гц}$), когда длительность паузы (τ_n) между ними составляет значительный временной интервал ($\tau_n = 250\text{--}500 \text{ мс}$), структурные перестройки, индуцируемые в клетках эмбриона предшествующим импульсом, к моменту воздействия следующего импульса релаксируют в состояние, близкое к исходному (табл. 4.17). В этом случае величина фотобиологического эффекта незначительна и практически не зависит от длительности паузы (см. рис. 4.6, 4.8). По мере сокращения временного интервала между импульсами структурные перестройки, индуцируемые предшествующим импульсом, не успевая релаксировать в исходное состояние, усиливаются воздействием следующего светового

импульса, что находит свое выражение в более высоком фотобиологическом эффекте при $\tau_n = 50$ мс, $F = 10$ Гц (см. рис. 4.9).

Таблица 4.17. Длительность паузы между импульсами модулированного излучения полупроводникового лазера «Сенс 815»

Частота модуляции F , Гц	Период T , мс	Длительность паузы между импульсами τ_n , мс
1	1000	500
2	500	250
5	200	100
10	100	50
50	20	10

При дальнейшем увеличении частоты следования импульсов ($F = 50$ Гц, $\tau_n = 10$ мс, т. е. при сокращении длительности паузы между ними) величина фотобиологического эффекта превышает таковой для непрерывного воздействия (например, рис. 4.10–4.12). Одной из возможных причин повышенной биологической активности лазерного излучения, модулированного с частотой $F = 50$ Гц, является неспособность живых систем адаптироваться к быстро меняющемуся внешнему физическому фактору, что приводит к более высокому фотобиологическому действию по сравнению с непрерывным режимом.

Следует, однако, отметить, что подобная закономерность в действии непрерывного и модулированного лазерного излучения наблюдается при энергетической нагрузке $E = 174$ мДж/см² ($t = 60$ с), оптимальной для непрерывного режима. При переходе к другому временному интервалу, например $t = 300$ с ($E = 870$ мДж/см²), оптимальным для стимуляции терморезистентности (рис. 4.10) является облучение эмбрионов с частотой модуляции $F = 10$ Гц, в то время как облучение при $F = 50$ Гц или в непрерывном режиме является менее эффективным. Как показывает анализ данных, причина вышеуказанной закономерности состоит в том, что оптимальное время воздействия для стимуляции рыбоводно-биологических показателей зависит от режима облучения и частоты модуляции.

Вышесказанное находит свое подтверждение и в работах других авторов [258, 402]. Так, исследуя влияние непрерывного лазерного излучения ($\lambda = 810$ нм, $P = 15$ мВт/см²) и излучения, модулированного по интенсивности с частотой 26, 292, 1000 и 3800 Гц, на рост различных бактерий, авторы [258] обнаружили, что непрерывное излучение ускоряет их рост при $E = 1$ Дж/см², а для излучения с $F = 1000$ или

3800 Гц максимальное стимулирующее действие наблюдается при $E = 2$ Дж/см²; при $F = 26$ или 292 Гц действие было слабо выраженным. В работе [402] показано, что если оптимум в дозовой кривой, отражающей влияние на скорость формирования костной ткани в условиях *in vitro* непрерывного лазерного излучения ($\lambda = 830$ нм) или излучения, модулированного с частотой $F = 8$ Гц, находится при $E = 3,84$ Дж/см², то при частоте модуляции $F = 1$ и 2 Гц положение оптимума приходится на $E = 0,96$ – $1,92$ Дж/см² и $E = 0,48$ Дж/см² соответственно.

По всей видимости, неучет того обстоятельства, что оптимум в дозовой кривой стимулирующего действия излучения может существенным образом зависеть от режима облучения, является одной из причин противоречивости литературных данных [27, 38, 79, 156, 206, 258, 262, 265, 402, 403] о влиянии модуляции излучения на фотобиологические эффекты. Как правило, вследствие сложности проведения множественных экспериментов на лабораторных животных или культуре клеток, исследователю приходится ограничиваться какой-либо одной дозой воздействующего излучения, вызывающей изменение контролируемого биологического показателя. При этом, как следует из приведенных нами данных, среди совокупности дозовых кривых, полученных с использованием непрерывного и модулированного с частотой $F = 1; 2; 5; 10; 50$ Гц излучения, всегда можно найти энергетический диапазон, в котором фотобиологические эффекты при различных режимах воздействия практически не отличаются или находятся в пределах ошибки эксперимента. Так, по данным рисунка 4.10, вне зависимости от режима воздействующего излучения (непрерывный или модулированный с $F = 1; 2; 5; 10; 50$ Гц), величина стимулирующего действия по критерию терморезистентности при $t = 245$ с ($E = 710$ мДж/см²) находится на уровне $\gamma_t = 110 \pm 5$ %. То есть, используя для сравнительных экспериментов дозовую нагрузку $E = 710$ мДж/см², не удалось бы найти выраженной зависимости биологического действия лазерного излучения от режима облучения и частоты модуляции.

Указанная причина может быть возможным объяснением результатов, полученных в работе [265], авторы которой, изучавшие влияние непрерывного и модулированного ($F = 2,5, 20, 292, 20000$ Гц) излучения ($\lambda = 820$ нм, $P = 800$ мВт/см², $t = 27$ с, $E = 21,6$ Дж/см²) на скорость дегрануляции тучных клеток в искусственно вызванных ранах кожи экспериментальных животных (крысы), не обнаружили зависимости регистрируемого эффекта от частоты модуляции. Однако, по данным

авторов работы [206], все виды модулированного воздействия лазерным излучением с $F = 100, 200, 300, 400, 500$ Гц ($\lambda = 635$ нм, $P = 0,89$ мВт/см², $t = 1120$ с, $E = 1$ Дж/см²) оказывали более низкое стимулирующее влияние на скорость заживления ран (крысы) по сравнению с непрерывным облучением.

В связи с обсуждаемой проблемой взаимосвязи биологической активности лазерного излучения и частоты его модуляции следует отметить, что в современной физиотерапии доминирующей является точка зрения, что максимальные различия в действии непрерывного и импульсного излучения наблюдаются при низкой частоте модуляции [68]. Считается [68], что при значении $F > 500 - 1000$ Гц физиотерапевтический эффект практически не отличается от действия непрерывного источника. Действительно, согласно исследованиям [402, 403], при облучении остеобластов в условиях *in vitro* ($\lambda = 830$ нм, $E = 0,48 - 3,84$ Дж/см²) максимальные различия в действии непрерывного и модулированного лазерного излучения наблюдались при $F = 1$ и 2 Гц. При переходе к частоте модуляции $F = 8$ Гц эффекты модулированного и непрерывного излучения были близки. Похожей точки зрения придерживаются и авторы [38], исследовавшие влияние непрерывного и модулированного излучения гелий-неонового лазера ($\lambda = 632,8$ нм, $t = 15$ мин, $E = 67,5$ Дж/см²) на активность ферментов обмена глутаминовой кислоты в тканях крыс при их облучении в условиях *in vivo*. Показано [38], что при $F = 1$ Гц характер изменений ферментативной активности значительно отличается от такового, полученного при непрерывном воздействии. Для некоторых ферментов свет, модулированный с частотой $F = 1$ Гц, не вызывал изменения их активности. С увеличением частоты модуляции до $F = 10$, или 50 Гц, скорость ферментативных процессов в тканях приближалась к уровню, характерному для непрерывного лазерного воздействия [38], а при $F = 100$ Гц наблюдалось снижение фотобиологического эффекта.

Результаты исследований [79, 156] также свидетельствуют, что эффект подавления светом окислительного метаболизма суспензии клеток селезенки (спленоцитов), оцениваемый по хемилюминесцентному тесту, различен для непрерывного и модулированного излучения ($\lambda = 632,8$ нм) при одинаковой дозе ($E = 0,5$ Дж/см²). При этом максимальные различия в чувствительности клеток к непрерывному и импульсному излучениям наблюдаются при частоте модуляции $F = 1$ Гц [79, 156]; с увеличением частоты до $F = 50$ Гц различия в действии

непрерывного и модулированного излучений становятся слабовыраженными.

Таким образом, наши результаты, полученные с использованием излучения ИК области спектра при воздействии на эмбрионы осетровых рыб ($\lambda = 0,81 \pm 0,02$ мкм, $E = 174$ мДж/см²), находятся в тесном соответствии с некоторыми данными по влиянию лазерного излучения на активность ферментов в тканях животных ($\lambda = 632,8$ нм, $E = 67,5$ Дж/см²) [38], метаболизм суспензии клеток селезенки ($\lambda = 632,8$ нм, $E = 500$ мДж/см²) [79, 156], рост в условиях *in vitro* различных бактерий ($\lambda = 810$ нм, $E = 1,0$ Дж/см²) [258] и молодых клеток костной ткани ($\lambda = 830$ нм, $E = 3,84$ Дж/см²) [402, 403]. Близость указанных результатов, несмотря на различие спектральных диапазонов воздействующего излучения, дозовые нагрузки, отличающиеся более чем на два порядка, а также различные объекты исследования свидетельствует об общебиологическом характере полученных закономерностей. С другой стороны, это указывает на возможность использования эмбрионов рыб в качестве удобной и чувствительной модели для исследования механизмов биологической активности НИЛИ.

Модуляция оптического излучения (при воздействии на оплодотворенную икру) может существенным образом изменять его биологическую активность. В этой связи можно ожидать, что использование излучения, модулированного с частотой $F = 50$ Гц, перспективно для повышения терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения. Причем такая технология может быть реализована с использованием серийно выпускаемой в настоящее время лазерной терапевтической аппаратуры, предусматривающей соответствующие опции для реализации модуляции излучения по интенсивности в указанном диапазоне частот [206].

Следует отметить, что вышерассмотренные результаты влияния модуляции оптического излучения на его биологическую активность не распространяются на зависимость биологического и терапевтического эффектов от частоты следования импульсов наносекундного диапазона. Для лазерных терапевтических аппаратов импульсного режима генерации (длительность импульса $\tau = 100 \pm 50$ нс) увеличение частоты следования импульсов сопровождается ростом средней плотности мощности воздействующего излучения, что и является определяющей причиной изменения биологического и терапевтического эффектов.

4.5. Влияние излучения сверхярких светодиодов на развитие молоди осетровых рыб

В настоящее время все больший интерес исследователей проявляется к возможности коррекции и стимулирования роста и развития гидробионтов при помощи различных физических факторов, особенно в условиях аквакультуры. К таким факторам относится и низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ). Вместе с тем нельзя не отметить и широкое использование в современных фототерапевтических установках (наряду с лазерами) источников нового типа света – сверхярких светоизлучающих диодов (LED – Light Emitting Diode). В отличие от лазерных источников, излучение LED не является когерентным и монохроматичным [209].

Появление лазеров, доступных для применения в медицине, ветеринарии и животноводстве, обострило интерес не только к изучению стимулирующей эффективности их излучения, но и к механизму первичных фотофизических процессов, определяющих биологическую активность указанного физического фактора. Наиболее принципиальным и определяющим стал вопрос: являются ли наблюдаемые эффекты лазероспецифичными (то есть зависимыми от таких характеристик лазерного излучения как когерентность, монохроматичность, поляризация) или присущи любому нелазерному источнику света? (например, излучению LED).

Анализ литературных данных показал, что при определенных условиях биологическая активность оптического излучения низкой интенсивности видимой и инфракрасной областей спектра может зависеть как от степени когерентности излучения, так и от его поляризации. В литературе обсуждались также конкретные фотофизические механизмы резонансной и нерезонансной природы (ориентационное действие света; действие градиентных сил; диполь-дипольные взаимодействия; термооптические процессы), способные вызывать фотобиологические эффекты, зависящие от поляризации и когерентности излучения [296, 344, 356, 396]. Вместе с тем имеется ряд данных [197, 266], свидетельствующих, что при сопоставимой дозовой нагрузке стимулирующее действие не зависит ни от когерентности оптического излучения, ни от его поляризации. Более того, широко распространено мнение об отсутствии каких-либо оснований предполагать возможную роль когерентности и поляризации во взаимодействии оптического излучения низкой интенсивности с биологическими системами [266].

Приведенный анализ литературных сведений не позволяет сделать вывод о причинах противоречивости данных, полученных различными авторами при исследовании зависимости биологической активности оптического излучения от когерентности и поляризации, и свидетельствует о необходимости дальнейших исследований в данном направлении при тщательном контроле спектральных, поляризационных и энергетических характеристик источников излучения.

Полученные зависимости стимулирующего действия от времени облучения поляризованным и неполяризованным излучением светодиодного источника с длиной волны $\lambda = 630 \pm 10$ нм в непрерывном режиме при плотности мощности излучения $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см² в отношении длины 50-дневной молоди осетровых рыб представлены на рис. 4.14, а в отношении массы – на рис. 4.15. На рис. 4.14 по оси абсцисс отложено время облучения в секундах, а по оси ординат – величина стимулирующего действия излучения в отношении длины рыб, определяемая по формуле $\gamma_d = (L_o / L_k) \cdot 100$ %, где L_o – длина молоди возвратного гибрида бестера, полученной из эмбрионов, облученных на 24-й стадии развития светодиодным источником излучения красной области спектра, т. е. опытная группа, мм; L_k – длина молоди возвратного гибрида бестера, эмбрионы которой не подвергались воздействию излучения, т. е. контрольная группа. При этом кривая 1 отражает зависимость стимулирующего действия в отношении длины рыб в процентах к контролю при облучении поляризованным излучением, а кривая 2 – неполяризованным излучением.

На рис. 4.15 по оси абсцисс отложено время облучения в секундах, а по оси ординат – величина стимулирующего действия излучения в отношении массы рыб ($\gamma_m = (M_o / M_k) \cdot 100$ %, где M_o – масса молоди возвратного гибрида бестера, полученной из эмбрионов, облученных на 24-й стадии развития светодиодным источником излучения красной области спектра, т. е. опытная группа, мг; M_k – масса молоди возвратного гибрида бестера, эмбрионы которой не подвергались воздействию излучения, т. е. контрольная группа, мг. При этом кривая 1 отражает зависимость стимулирующего действия в отношении массы рыб в процентах к контролю при облучении поляризованным излучением, а кривая 2 – неполяризованным излучением.

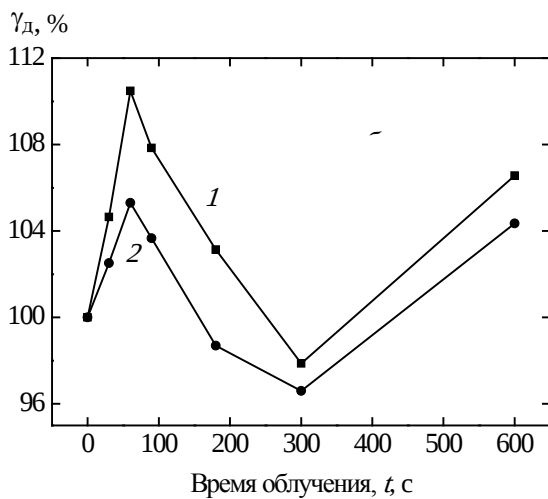


Рис. 4.14. Влияние светодиодного излучения на длину молоди осетровых рыб

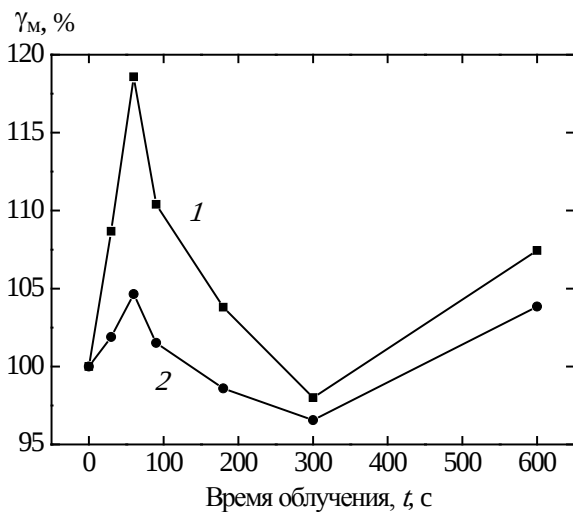


Рис. 4.15. Влияние светодиодного излучения на массу молоди осетровых рыб

Установлено, что воздействие на эмбрионы осетровых рыб на 24-й стадии излучением светодиодного источника при плотности мощности

воздействующего излучения $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см² приводит к стимуляции их длины и массы как при облучении поляризованным, так и неполяризованным излучением. Однако при облучении линейно поляризованным излучением при оптимальных условиях воздействия стимулирующий эффект значительно выше, чем неполяризованным.

Вышесказанное подтверждается данными, представленными в табл. 4.18 и 4.19. При этом в табл. 4.18 приведены значения средней длины, а в табл. 4.19 – средней массы 50-дневной молоди осетровых, эмбрионы которой на стадии органогенеза не подвергались (контрольная группа) или подвергались (опытная группа) воздействию поляризованного и неполяризованного излучения светодиодного источника красной области спектра с длиной волны $\lambda = 630 \pm 10$ нм в непрерывном режиме при плотности мощности воздействующего излучения $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см².

Таблица 4.18. Показатели средней длины 50-дневной молоди осетровых рыб, эмбрионы которой на 24-й стадии развития подвергались воздействию поляризованного и неполяризованного излучения красной области спектра

Режим воздействия	Время облучения, с	Средняя масса, L, мм	Величина стимулирующего действия γ , %	Достоверность отличий от контроля
Контроль	0	47,0 $\pm$ 0,5	100	–
Поляризованное излучение	30	49,2 $\pm$ 0,4	104,7 $\pm$ 0,8	P < 0,001
	60	51,9 $\pm$ 0,4	110,5 $\pm$ 0,9	P < 0,001
	90	50,7 $\pm$ 0,4	107,8 $\pm$ 0,8	P < 0,001
	180	48,5 $\pm$ 0,4	103,1 $\pm$ 0,7	P < 0,05
	300	46,0 $\pm$ 0,3	97,9 $\pm$ 0,6	–
	600	50,1 $\pm$ 0,4	106,6 $\pm$ 0,9	P < 0,001
Неполяризованное излучение	30	48,2 $\pm$ 0,4	102,5 $\pm$ 0,8	–
	60	49,5 $\pm$ 0,3	105,3 $\pm$ 0,7	P < 0,001
	90	48,7 $\pm$ 0,4	103,7 $\pm$ 0,7	P < 0,01
	180	46,4 $\pm$ 0,3	98,7 $\pm$ 0,7	–
	300	45,4 $\pm$ 0,3	96,6 $\pm$ 0,6	P < 0,01
	600	49,0 $\pm$ 0,4	104,4 $\pm$ 0,9	P < 0,01

Таблица 4.19. Показатели средней массы 50-дневной молоди осетровых рыб, эмбрионы которой на 24-й стадии развития подвергались воздействию поляризованного и неполяризованного излучения красной области спектра в течение различного времени

Режим воздействия	Время облучения, с	Средняя масса M , мг	Величина стимулирующего действия γ_m , %	Достоверность отличий от контроля
Контроль	0	$566,3 \pm 9,5$	100	—
Поляризованное излучение	30	$615,4 \pm 16,2$	$108,7 \pm 2,9$	$P < 0,01$
	60	$671,5 \pm 20,9$	$118,6 \pm 3,7$	$P < 0,001$
	90	$625,2 \pm 15,4$	$110,4 \pm 2,7$	$P < 0,01$
	180	$587,8 \pm 13,1$	$103,8 \pm 2,3$	—
	300	$555,0 \pm 10,4$	$98,0 \pm 1,8$	—
	600	$608,4 \pm 14,9$	$107,4 \pm 2,6$	$P < 0,05$
Неполяризованное излучение	30	$577,0 \pm 13,0$	$101,9 \pm 2,3$	—
	60	$592,6 \pm 15,3$	$104,6 \pm 2,7$	$P < 0,05$
	90	$574,9 \pm 10,2$	$101,5 \pm 1,8$	—
	180	$558,4 \pm 8,4$	$98,6 \pm 1,5$	—
	300	$546,8 \pm 9,1$	$96,6 \pm 1,6$	—
	600	$588,1 \pm 11,7$	$103,9 \pm 2,1$	—

Из представленных данных следует, что облучение эмбрионов осетровых рыб на стадии органогенеза приводит к увеличению размерно-весовых показателей молоди. Так, если в контрольной (необлученной) группе средняя длина 50-дневных особей составляет $L_k = 47,0 \pm 0,5$ мм, то для группы рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию поляризованного излучения с длиной волны $\lambda = 630 \pm 10$ нм при плотности мощности $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см² в течение 60 с, $L_o = 51,9 \pm 0,4$ мм, т. е. величина стимулирующего действия составляет $\gamma_d = 110,5 \pm 0,9$ %, достоверность отличий от контроля $P < 0,001$. При $t = 30$ с $L_o = 49,2 \pm 0,4$ мм, $\gamma_d = 104,7 \pm 0,8$ %, $P < 0,001$, а при $t = 90$ с, $L_o = 50,7 \pm 0,4$ мм $\gamma_d = 107,8 \pm 0,8$ %, $P < 0,001$. Как видно из рис. 4.14 (кривая 1), дальнейшее увеличение времени воздействия приводит к снижению стимулирующего действия поляризованного излучения светодиодного источника в отношении длины 50-дневной молоди.

При использовании неполяризованного излучения максимальное стимулирующее действие также наблюдается при времени облучения, равном 60 с. Однако, как следует из табл. 4.18, в этом случае

$L_o = 49,5 \pm 0,3$ мм, а величина стимулирующего действия составляет $\gamma_d = 105,3 \pm 0,7$ %, $P < 0,001$. При времени воздействия неполяризованным излучением $t = 30$ с, $L_o = 48,2 \pm 0,4$ мм, $\gamma_d = 102,5 \pm 0,8$ %, а при $t = 90$ с, $L_o = 48,7 \pm 0,4$ мм, $\gamma_d = 103,7 \pm 0,7$ %, $P < 0,01$. Согласно рис. 4.14 (кривая 2), дальнейшее увеличение времени воздействия приводит к снижению стимулирующего действия неполяризованного излучения светодиодного источника в отношении длины 50-дневной молоди.

Таким образом, максимальный стимулирующий эффект в отношении длины 50-дневной молоди осетровых рыб наблюдается при воздействии на эмбрионы поляризованным излучением светодиодного источника красной области спектра с длиной волны $\lambda = 630 \pm 10$ нм при плотности мощности $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см² в течение 60 ± 30 с. Для неполяризованного источника с теми же параметрами стимулирующее действие существенно ниже.

Аналогичная тенденция прослеживается и при контроле массы 50-дневной молоди осетровых рыб. Так, если в контрольной (необлученной) группе средняя масса 50-дневных особей составляет $M_k = 566,3 \pm 9,5$ мг, то для группы рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию поляризованного излучения с длиной волны $\lambda = 630 \pm 10$ нм плотностью мощности $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см² в течение 60 с, $M_o = 671,5 \pm 20,9$ мг, т. е. величина стимулирующего действия составляет $\gamma_m = 118,6 \pm 3,7$ %, достоверность отличий от контроля $P < 0,001$. При времени воздействия t , равном 30 с, $M_o = 615,4 \pm 16,2$ мг, $\gamma_m = 108,7 \pm 2,9$ %, $P < 0,01$, а при $t = 90$ с, $M_o = 625,2 \pm 15,4$ мг, $\gamma_m = 110,4 \pm 2,7$ %, $P < 0,01$. Как видно из рис. 4.15 (кривая 1), дальнейшее увеличение времени воздействия приводит к снижению стимулирующего действия поляризованного излучения светодиодного источника в отношении массы 50-дневной молоди.

При использовании неполяризованного излучения максимальное стимулирующее действие также наблюдается при времени облучения равном 60 с. Однако, как следует из табл. 4.19, в этом случае $M_o = 592,6 \pm 15,3$ мг, а величина стимулирующего действия составляет $\gamma_m = 104,6 \pm 2,7$ %, $P < 0,05$. При $t = 30$ с, $M_o = 577,0 \pm 13,0$ мг, $\gamma_m = 101,9 \pm 2,3$ %, а при $t = 90$ с, $M_o = 574,9 \pm 10,2$ мм, $\gamma_m = 101,5 \pm 1,8$ %, $P < 0,01$. Согласно рис. 4.15 (кривая 2), дальнейшее увеличение времени воздействия приводит к снижению стимулирующего действия неполяризованного излучения светодиодного источника в отношении массы 50-дневной молоди.

Таким образом, при облучении эмбрионов осетровых рыб на стадии органогенеза излучением светодиодного источника красной области спектра с длиной волны $\lambda = 630 \pm 10$ нм, плотностью мощности $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см² максимальный стимулирующий эффект в отношении массы 50-дневной молоди наблюдается при использовании поляризованного излучения и времени воздействия t , равном 30–90 с.

Отличительной особенностью заявленного способа стимуляции размерно-весовых показателей молоди осетровых рыб является его более выраженный стимулирующий эффект в сравнении с прототипом, сокращение времени воздействия, а также возможность его применения как в технологии прудового, так и индустриального осетроводства. Действительно, если для прототипа максимальный стимулирующий эффект светового воздействия для массы составляет $\gamma_m = 108$ %, для длины $\gamma_d = 104$ %, то при использовании заявляемого способа $\gamma_m = 118,6 \pm 3,7$ %, $\gamma_d = 110,5 \pm 0,9$ %. Следует также отметить, что поскольку источником излучения является малогабаритный светодиодный аппарат, то его применение в условиях искусственного воспроизводства и выращивания молоди осетровых рыб не создает (в отличие от прототипа) неудобств обслуживающему персоналу.

Полученные в настоящей работе результаты свидетельствуют о выраженной биологической активности низкоинтенсивного излучения красной области спектра, заключающейся в способности света влиять на постэмбриональное развитие осетровых рыб при кратковременном однократном воздействии на эмбрионы на стадии органогенеза. Экспериментально это проявляется в повышении параметров жизнестойкости стандартной молоди осетровых рыб к воздействию неблагоприятных факторов среды обитания (дефициту кислорода, экстремальной температуре, токсикантам), а также в стимуляции размерно-весовых показателей рыб по сравнению с особями контрольных групп, эмбрионы которых не подвергались воздействию оптического излучения. Эффекты, индуцируемые оптическим излучением, характеризуются высоким уровнем достоверности. Как следует из данных, представленных в таблице, наиболее существенные различия между показателями опытных и контрольных групп наблюдаются при использовании в качестве тестов устойчивости 50-дневной молоди к дефициту кислорода в среде обитания, а также при контроле массы тела особей. По этой причине большинство сравнительных исследований эффективности воздействия линейно-, циркулярно-поляризованного и неполяризованного излучения, а также излучения, характеризующегося

различной степенью временной когерентности, проведено с использованием указанных тестов.

На основании проведенных исследований сделан вывод об определяющем значении поляризации излучения в реализации его биологического действия. Обращает на себя внимание то, что при воздействии неполяризованного излучения стимулирующее действие хотя и является достоверным ($p < 0,05$), однако величина эффекта очень незначительна.

Совокупность представленных данных свидетельствует о том, что наблюдаются существенные различия в биологической активности поляризованного и неполяризованного света в отношении эмбрионов осетровых рыб при контроле размерно-весовых показателей и параметров жизнестойкости к неблагоприятным условиям среды обитания 50-дневной молоди рыб, полученной из указанных эмбрионов. Результаты исследований могут быть положены в основу работ по созданию специальных условий для инкубирования оплодотворенной икры ценных видов рыб с применением лазерно-оптических технологий. Однако данный вопрос – тема последующих публикаций.

4.6. Влияние оптического излучения различных длин волн на развитие молоди рыб

Ранее [132, 133, 136, 335] нами было показано, что эмбрионы рыб являются удобной моделью для исследования механизмов биологической активности оптического излучения. При оптимальных параметрах ($\lambda = 808$ нм, плотность мощности $P = 2,9$ мВт/см², длительность воздействия $t = 60$ с) лазерное излучение оказывает выраженное стимулирующее действие на рыбоводно-биологические показатели осетровых рыб, снижая частоту аномалий в развитии, повышая выживаемость, размерно-весовые показатели, жизнестойкость личинок и молоди, увеличивая экстерьерные показатели товарных годовиков. Стимулирующий эффект сильно зависит от поляризации и интенсивности излучения, времени и режимов (непрерывный, импульсный, модулированный) воздействия. В то же время степень когерентности излучения не играет определяющей роли в механизме биологической активности указанного физического фактора: действие поляризованного квазимонохроматического излучения светодиодного источника и лазерного диода близкой длины волны практически не отличается [136, 337].

Цель настоящих исследований – изучение влияния облучения оплодотворенной икры на последующее эмбриональное и постэмбриональ-

ное развитие осетровых рыб в зависимости от длины волны излучения видимой и ближней ИК-областей спектра и последовательности воздействия (комбинированное облучение). Актуальность изучения комбинированного воздействия обусловлена литературными данными, свидетельствующими о возможности значительного усиления биологического действия света за счет последовательного облучения [177, 307].

Результаты исследований влияния поляризованного излучения светодиодных источников синей ($\lambda = 450 \pm 15$ нм) и красной ($\lambda = 630 \pm 10$ нм) областей спектра, а также поляризованного излучения инфракрасного диапазона ($\lambda = 808$ нм) на развитие эмбрионов и рыб при облучении на эмбриональной стадии представлены на рис. 4.16.

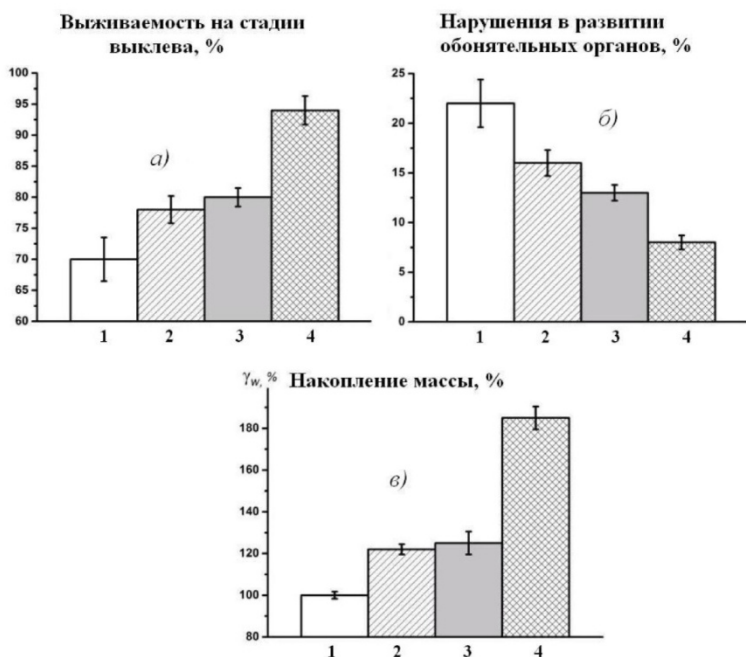


Рис. 4.16. Влияние непрерывного оптического излучения ($P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см², $t = 60$ с) различного спектрального диапазона на выживаемость предличинки на стадии выклева (а), на нарушения в развитии их обонятельных органов (б) и на накопление массы 50-суточной молоди осетровых рыб (в): 1 – контрольная группа; 2, 3, 4 – группы, на эмбрионы которых воздействовали оптическим излучением синего (2), красного (3), инфракрасного (4) источников

Из рисунка следует, что эффект действия достаточно сильно зависит от спектрального диапазона воздействующего излучения. Максимальное стимулирующее действие оказывает излучение ближней инфракрасной области спектра $\lambda = 808$ нм, $P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см², $t = 60$ с областей спектра, соответственно; 5–8 – группы, на эмбрионы которых последовательно воздействовали излучением синего и красного (5); красного и синего (6); синего и ИК (7); ИК и синего (8) спектральных диапазонов. В качестве критерия, свидетельствующего о влиянии оптического излучения на развитие рыб, были выбраны следующие показатели: выживаемость предличинок на стадии выклева; количество нарушений в развитии обонятельных органов предличинок; средняя масса 50-дневной молоди осетровых рыб.

Так, если в контрольной группе, выживаемость предличинок на стадии выклева составляла $\gamma_v = 70 \pm 3,5\%$, то при воздействии излучения $\lambda = 450$ нм – $\gamma_v = 78 \pm 2,2\%$; $\lambda = 630$ нм – $\gamma_v = 80 \pm 1,5\%$; $\lambda = 808$ нм – $\gamma_v = 94 \pm 2,3\%$. Аналогичная закономерность прослеживается и при контроле количества нарушений в развитии обонятельных органов предличинок и при измерении массы 50-дневной молоди. Например, если в контрольной группе аномалии в развитии наблюдались в $\gamma_n = 22 \pm 2,4\%$ от ее численности, то для личинок, полученных из облученных эмбрионов, данные показатели составляют: для $\lambda = 450$ нм – $\gamma_n = 16 \pm 1,3\%$; для $\lambda = 630$ нм – $\gamma_n = 13 \pm 0,8\%$; для $\lambda = 808$ нм – $\gamma_n = 8 \pm 0,7\%$. Средняя масса 50-дневной молоди, полученной из эмбрионов, облученных синим светом, составляла $\gamma_w = 122 \pm 2,5\%$ по отношению к контролю; облученных красным светом – $\gamma_w = 125 \pm 5,5\%$; инфракрасным – $\gamma_w = 185 \pm 5,5\%$.

Следовательно, развитие осетровых рыб на эмбриональном и пост-эмбриональном уровне существенно зависит от длины волны излучения, воздействовавшего на эмбрионы на 24-й стадии эмбрионального развития.

Следующий этап исследований связан с изучением закономерностей комбинированного действия на эмбрионы света различных длин волн. Полученные результаты представлены в табл. 4.20.

Таблица 4.20. Влияние последовательного (комбинированного) воздействия на эмбрионы оптическим излучением различного спектрального диапазона ($P = 2,9 \pm 0,2$ мВт/см², $t = 60$ с) на показатели, характеризующие развитие осетровых рыб на эмбриональной и постэмбриональной стадиях

Контролируемый параметр	Показатели (% к контролю) при последовательном воздействии на эмбрионы излучением спектральных диапазонов				Показатели для контрольных группы, %
	синий и красный	красный и синий	синий и ИК	ИК и синий	
Выживаемость предличинки на стадии выклева	86 ± 2,3	82 ± 1,9	87 ± 2,1	89 ± 1,9	70 ± 3,5
Нарушения в развитии обонятельных органов	13 ± 1,3	12 ± 1,0	11 ± 0,9	10 ± 0,8	22 ± 2,4
Накопления массы 50-суточной молоди осетровых рыб	140 ± 3,5	128 ± 6,5	155 ± 4,2	149 ± 4,7	100 ± 1,7

Из приведенных данных следует, что максимальные отличия от контрольных групп наблюдаются при последовательном воздействии на эмбрионы излучением синей и инфракрасной (группа 7); инфракрасной и синей (группа 8) областей спектра. Однако обращает на себя внимание отсутствие в этом случае синергизма в действии указанных физических факторов: при облучении эмбрионов светом только с $\lambda = 808$ нм фотобиологический эффект выше по всем исследованным показателям. Четко выраженный синергизм отмечается при последовательном действии излучения синей и красной областей спектра. Так, если при воздействии на эмбрионы излучением синей области спектра средняя масса 50-дневной молоди $125 \pm 5,5$ %; то при последовательном воздействии (синим и красным) – $\gamma_w = 140 \pm 3,5$ %. Обратная последовательность (воздействие красным и синим излучением) практически не приводит к эффекту синергизма: $\gamma_w = 128 \pm 6,5$ %. Отметим, что приведенные данные о синергизме действия излучения синей и красной областей спектра, полученные на эмбрионах рыб, находятся в хорошем соответствии с результатами исследования другими авторами влияния комбинированного лазерного воздействия на митотическую активность клеток в культуре [177], синтез ДНК и РНК [307], а также на заживление трофических язв и ран после оперативных вмешательств [177].

Приведенные результаты свидетельствуют о выраженной зависимости эмбрионального и постэмбрионального развития осетровых рыб от длины волны излучения, использовавшегося для облучения оплодотворенной икры (эмбрионов). Максимальное стимулирующее влияние на выживаемость предличинок на стадии выклева, количество аномалий в развитии их обонятельных органов, и на среднюю массу 50-дневной молоди оказывает излучение инфракрасного диапазона с $\lambda = 808$ нм; действие света синей ($\lambda = 450 \pm 15$ нм) и красной ($\lambda = 630 \pm 10$ нм) областей спектра менее выражено. Отмечается синергизм в действии излучения синей и красной областей спектра, что соответствует литературным данным [177, 307], полученным при воздействии света на другие биологические системы. По нашему мнению [133, 136, 335, 337], первичные фотофизические механизмы, обеспечивающие влияние излучения на метаболические процессы в организме, обусловлены кооперативными структурными переходами в мембранах и мультимерных комплексах с жидкокристаллическим характером упорядочения за счет ориентационного действия поляризованного излучения в присутствии слабо поглощающих эндогенных хромофоров. Наличие слабого поглощения значительно усиливает (примерно на два порядка [337]) чувствительность указанных систем к структурным переходам, индуцированным ориентационным действием поляризованного излучения. Ранее полученные данные [133, 136, 335, 337] и регистрация точек экстремумов в спектре биологического действия подтверждает правомерность сделанного заключения.

4.7. Исследование влияния оптического излучения низкой интенсивности на жаброногого рачка *Artemia salina* L.

В рыбохозяйственных научных исследованиях в качестве модельных организмов используют различные биологические объекты. Наибольшую популярность в лабораторных исследованиях получила пресноводная рыба данио-рерио (*Danio rerio*) благодаря быстрому сроку эмбрионального развития, высокой выживаемости и жизнестойкости личинок и молоди [65]. В наших предыдущих исследованиях мы показали, что эмбрионы (оплодотворенная икра) и сперма осетровых рыб являются также удобными модельными организмами [135, 337].

Жаброногий рачок *Artemia salina* L. – популярный объект в технологии аквакультуры, который с успехом используется для стартового

кормления молоди рыб. Простота получения науплий из покоящихся цист, а также доступность и массовость материала делают этот вид удобным модельным организмом для изучения влияния различных физических факторов на биологические системы.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в последние годы в изучении фотофизических процессов, определяющих биологическую активность оптического излучения низкой интенсивности, становится все более очевидным отсутствие универсального механизма, объясняющего выраженное регуляторное действие света, характеризующегося различной степенью когерентности и поляризации, спектральным диапазоном, диапазоном интенсивностей и энергетических доз.

В настоящей работе представлены данные по влиянию непрерывного лазерного излучения красной (0,63 мкм) и ближней инфракрасной (0,8–1,34 мкм) областей спектра на выживаемость науплий жаброногого рачка *Artemia salina* L. при облучении его цист (табл. 4.21–4.28). В качестве теста на действие лазерного излучения выбран процент выклева науплиусов из цист (защитной оболочки) после инкубирования яиц в солевом растворе в условиях поддержания стабильного теплового режима.

Проведенные исследования позволили впервые обнаружить способность излучения красного диапазона, а также ближней инфракрасной области спектра, располагающейся вне полосы электронного поглощения основных хромофоров животной клетки, оказывать регуляторное действие на протекающие биохимические процессы, контролирующие выклев науплиусов.

Таблица 4.21. Влияние лазерного излучения ($\lambda = 1176$ нм) на выклев науплий *Artemia salina* через 48 ч

Время воздействия, с	Величина стимулирующего эффекта, %	Уровень значимости
Контроль (0)	100	–
60	104,8 ± 18,31	–
90	109,6 ± 12,92	–
180	118,6 ± 7,31	P < 0,001
300	156,3 ± 5,79	P < 0,001
600	111,4 ± 8,19	P < 0,005

Таблица 4.22. Влияние лазерного излучения ($\lambda = 632,8$ нм) на выклев науплий *Artemia salina* через 48 ч

Время воздействия, с	Величина стимулирующего эффекта, %	Уровень значимости
Контроль (0)	100	—
60	$83,85 \pm 6,37$	$P < 0,05$
90	$66,98 \pm 16,98$	$P < 0,05$
180	$102,00 \pm 3,08$	$P < 0,05$
300	$102,29 \pm 7,95$	$P < 0,05$

Таблица 4.23. Влияние лазерного излучения ($\lambda = 808$ нм) на выклев науплий *Artemia salina* через 48 ч

Время воздействия	Средняя величина стимулирующего эффекта, %	Коэффициент вариации	Стандартная ошибка среднего	Уровень значимости (поправка Йетса на непрерывность)	Уровень вариации
Контроль	100	—	—	—	—
60	98,0	29,37	20,36	—	Сильная
90	118,9	6,66	4,57	—	Слабая
180	113,3	28,28	18,50	—	Сильная
300	90,2	40,95	21,31	—	Сильная

Таблица 4.24. Влияние лазерного излучения ($\lambda = 976$ нм) на выклев науплий *Artemia salina* через 48 ч

Время воздействия	Средняя величина стимулирующего эффекта, %	Коэффициент вариации	Стандартная ошибка среднего	Уровень значимости (поправка Йетса на непрерывность)	Уровень вариации
Контроль	100	—	—	—	—
60	94,0	30,99	14,56	—	Сильная
90	77,1	22,17	8,54	—	Средняя
180	77,4	15,86	6,13	—	Средняя
300	101,9	12,82	6,53	—	Средняя
600	99,4	2,54	1,78	—	Слабая

Таблица 4.25. Влияние лазерного излучения ($\lambda = 1064$ нм) на выклев науплий *Artemia salina* через 48 часов

Время воздействия	Средняя величина стимулирующего эффекта, %	Коэффициент вариации	Стандартная ошибка среднего	Уровень значимости (поправка Йетса на непрерывность)	Уровень вариации
Контроль	100	–	–	–	–
60	92,8	18,53	9,92	–	Средняя
90	95,0	9,87	5,42	–	Слабая
180	81,9	36,21	17,13	–	Сильная
300	109,4	7,01	5,42	$P < 0,001$	Слабая
600	103,2	4,27	3,11	$P < 0,001$	Слабая

Таблица 4.26. Влияние лазерного излучения ($\lambda = 1176$ нм) на выклев науплий *Artemia salina* через 48 часов

Время воздействия	Средняя величина стимулирующего эффекта, %	Коэффициент вариации	Стандартная ошибка среднего	Уровень значимости (поправка Йетса на непрерывность)	Уровень вариации
Контроль	100	–	–	–	–
60	104,8	34,93	18,31	–	Сильная
90	109,6	23,58	12,92	–	Сильная
180	118,6	10,68	7,31	$P < 0,001$	Слабая
300	156,3	6,41	5,79	$P < 0,001$	Слабая
600	111,4	12,73	8,19	$P < 0,005$	Средняя

Таблица 4.27. Влияние лазерного излучения ($\lambda = 1342$ нм) на выклев науплий *Artemia salina* через 48 часов

Время воздействия	Средняя величина стимулирующего эффекта, %	Коэффициент вариации	Стандартная ошибка среднего	Уровень значимости (поправка Йетса на непрерывность)	Уровень вариации
Контроль	100	–	–	–	–
60	108,80	8,77	4,77	$P < 0,001$	Слабая
90	112,74	7,13	4,02	$P < 0,001$	Слабая
180	129,91	10,19	6,62	$P < 0,001$	Слабая
300	125,83	5,19	3,77	$P < 0,001$	Слабая
600	122,74	3,58	2,54	$P < 0,001$	Слабая

Таблица 4.28. Сравнение (по максимальному эффекту) 2-суточных науплий артемии

Длина волны	Время воздействия	Стимулирующий эффект, %	Коэффициент вариации	Стандартная ошибка средней	Уровень значимости	Уровень вариации
808	90	118,9	6,66	4,57	—	Слабая
976	300	101,9	12,82	6,53	$P_{976-808} - P < 0,001$	Средняя
1064	300	109,4	7,01	5,42	$P_{1064-976} - P < 0,01$ $P_{1064-808} - P < 0,001$	Слабая
1176	300	156,3	6,41	5,79	$P_{1176-1064} - P < 0,001$ $P_{1176-1342} - P < 0,001$ $P_{1176-808} - P < 0,001$ $P_{1176-976} - P < 0,001$	Слабая
1342	180	129,91	10,19	6,62	$P_{1342-1064} - P < 0,001$ $P_{1342-976} - P < 0,001$ $P_{1342-808} - P < 0,001$	Средняя

Типичные зависимости величины биологического эффекта от времени воздействия на цисты науплий излучения с $\lambda = 632,8$ и 1176 нм ($P = 3,0$ мВт/см²) представлены на рис. 4.17. Характерной особенностью полученных дозовых кривых является наличие ярко выраженного экстремума, соответствующего максимальному стимулирующему или ингибирующему действию излучения (в зависимости от его длины волны). Тот факт, что зависимость $\gamma = f(t)$ не описывается экспоненциальной (полиэкспоненциальной) функцией, указывает на регуляторный характер биологического действия указанного физического фактора. Для сравнения отметим, что деструктивное действие света, вызываемое коротковолновым ультрафиолетовым излучением или фотодинамическим действием, сенсibilизированным экзогенными или эндогенными красителями, как правило, описывается экспоненциальной (полиэкспоненциальной) функцией.

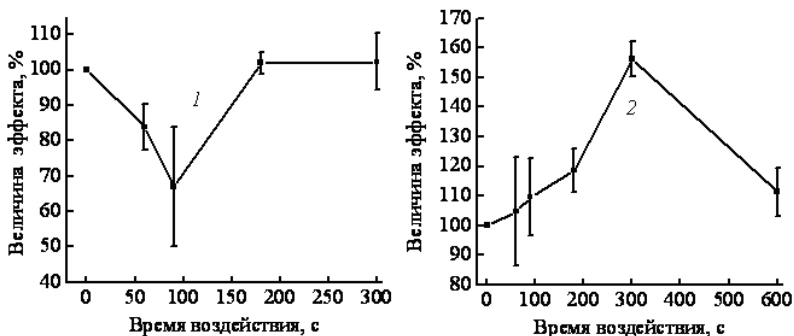


Рис. 4.17. Влияние лазерного излучения ($P = 3,0 \text{ мВт/см}^2$) с длиной волны 632,8 (1) и 1176 нм (2) на выклев науплий при облучении их цист

Обращает на себя внимание, что если при оптимальных условиях воздействия излучение $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ оказывает ингибирующее действие на выклев науплий, то излучение с $\lambda = 1176 \text{ нм}$ – стимулирующее. Так, для $\lambda = 1176 \text{ нм}$ при энергетической дозе $E = 0,9 \text{ Дж/см}^2$ ($t = 300 \text{ с}$) величина стимулирующего эффекта составляет $\gamma = 156,3 \pm 5,8 \%$ (достоверность отличия от контроля $P < 0,001$). Уменьшение или увеличение времени воздействия приводит к снижению ингибирующего действия, и при $t = 600 \text{ с}$ ($1,8 \text{ Дж/см}^2$) интенсивность выклева в облученных группах ($\gamma = 111,4 \pm 8,2 \%$) слабо отличается от контрольных.

Исследования показали, что выраженным стимулирующим действием обладает также излучение с длиной волны $\lambda = 808 \text{ нм}$ и $\lambda = 1342 \text{ нм}$. При воздействии света с $\lambda = 808 \text{ нм}$ оптимум в дозовой зависимости наблюдается при $t = 90 \text{ с}$ ($E = 0,27 \text{ Дж/см}^2$), а величина стимулирующего эффекта составляет $\gamma = 118,9 \%$. При облучении цист лазерным излучением с длиной волны 1342 нм максимальное стимулирующее действие составляет $\gamma = 129,9 \%$ и наблюдается при $t = 180 \text{ с}$ ($E = 0,54 \text{ Дж/см}^2$).

В отличие от излучения с длиной волны 808; 1176 и 1342 нм, облучение цист артемий светом с $\lambda = 632,8$; 976 и 1064 нм сопровождается ингибированием процесса выклева науплий. Так, для $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ при энергетической дозе $E = 0,27 \text{ Дж/см}^2$ ($t = 90 \text{ с}$) величина фотобиологического эффекта составляет $\gamma = 67,0 \pm 17,0 \%$. Уменьшение или увеличение времени воздействия приводит к снижению ингибирующего

действия и при $t = 180$ и 300 с ($E = 0,54$ и $0,9$ Дж/см²) величина выклева у облученных и необлученных группах практически не отличаются.

При воздействии на цисты излучением $\lambda = 1064$ нм в течение $t = 180$ с ($E = 0,54$ Дж/см²) величина фотобиологического эффекта составляет $\gamma = 81,9$ %. Увеличение дозовой нагрузки до $E = 0,9$ Дж/см² ($t = 300$ с) сопровождается незначительным превышением ($\gamma = 109,4$ %) интенсивности выклева над контролем.

Еще большее ингибирующее действие на интенсивность выклева науплий оказывает излучение с $\lambda = 976$ нм. Так, при $t = 90$ – 180 с ($E = 0,27$ – $0,54$ Дж/см²) величина фотобиологического эффекта составляет $\gamma \approx 77$ %. При увеличении времени воздействия до 300 – 600 с ($E = 0,9$ – $1,8$ Дж/см²) фотобиологический эффект практически отсутствует ($\gamma \approx 100$ %).

Полученные результаты по действию лазерного излучения на выклев науплий *Artemia salina* L. позволяют сделать ряд заключений о механизме биологической активности оптического излучения в ближней инфракрасной области спектра. Как правило, при анализе механизмов фотофизических процессов, определяющих регуляторное действие лазерного излучения видимой области спектра, наличие фотобиологического эффекта связывают с попаданием оптического излучения либо в полосу поглощения белковых макромолекул (включая ферменты), содержащих простетические группы (гемоглобины, цитохромы, супероксиддисмутаза, каталаза и др.), либо с активацией светом эндогенных молекул-фотосенсибилизаторов (прежде всего порфириновой природы, таких, как копропорфирин, уропорфирин). Считается, что в первом случае воздействие излучения приводит к изменению кислородтранспортной функции гемоглобина, изменению локальной концентрации кислорода за счет фотодиссоциации его от оксигемоглобина, изменению активности ферментных систем (цитохромоксидазы, супероксиддисмутаза, каталазы). При этом изменение функциональных характеристик макромолекул, как правило, связывают со светоиндуцированным изменением их конформации. В случае определяющей роли фотосенсибилизированных реакций в механизме биологической активности лазерного излучения важную роль отводят процессам изменения проницаемости клеточных мембран за счет процессов перекисного окисления липидов и других процессов.

Поскольку длина волны лазеров с $\lambda = 808$; 976 ; 1064 ; 1176 ; 1342 нм находится вне полосы поглощения порфиринов, то возможную роль фотосенсибилизированных реакций с их участием следует исключить.

Наличие выраженных фотобиологических реакций при воздействии излучения с $\lambda = 1176; 1342$ нм позволяет также исключить возможную роль прямых фотохимических реакций с участием макромолекул, содержащих простетические группы, поскольку, согласно литературным данным, электронное поглощение для них отсутствует при $\lambda > 1100$ нм.

По нашему мнению, наблюдаемое биологическое действие лазерного излучения может быть обусловлено прямым триплет-синглетным возбуждением молекулярного кислорода, растворенного в биотканях. Как известно, основное состояние молекул O_2 – триплетное. При поглощении кислородом световых квантов энергии происходит заселение синглетных уровней $^1\Delta_g$ и $^1\Sigma_g$. Энергия $^1\Delta_g$ состояния составляет ~ 1 эВ, энергия $^1\Sigma_g$ – $\sim 1,6$ эВ. По различным оценкам и экспериментальным данным, полученным при высоком давлении кислорода, полосы поглощения кислорода в жидких органических средах характеризуются наличием максимумов в области 1273, 1064, 920, 765, 630 нм. Молярный коэффициент экстинкции для кислорода в области 1273 нм составляет $0,003 \text{ М}^{-1} \text{ см}^{-1}$, а в области 765 нм еще в 3,5 раза меньше. Для сравнения отметим, что молярный коэффициент экстинкции в максимуме полосы Соре гемоглобина составляет $1,65 \cdot 10^5 \text{ М}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Несмотря на столь слабый коэффициент молярной экстинкции, имеются данные, свидетельствующие о возможности прямого триплет-синглетного возбуждения молекулярного кислорода. Учитывая низкое значение коэффициента молярной экстинкции такого перехода и относительно низкую плотность мощности воздействующего излучения (3 мВт/см^2), концентрация синглетного кислорода в биологической системе достаточно низка, чтобы вызвать заметное деструктивное действие. Скорее всего, его образование в биологической системе способно выполнять сигнальную (триггерную) функцию, влияющую на протекание биохимических и физиологических процессов в организме, например, таких, как запуск апоптоза. Возможно, по этой причине при воздействии излучения $\lambda = 632,8; 1064$ нм, соответствующего максимумам полос поглощения кислорода, как правило, отмечается ингибирование процесса выклева науплий. При сопоставимой дозовой нагрузке ($E = 0,27\text{--}0,9 \text{ Дж/см}^2$) излучение с $\lambda = 808; 1176; 1342$ нм, находящееся вдали от известных максимумов полос поглощения кислорода в органических растворах, оказывает стимулирующее действие.

Таким образом, полученные нами данные позволили впервые обнаружить в отношении зоопланктона регуляторное действие лазерного

излучения ближней инфракрасной области спектра, расположенного вне полос электронного поглощения биологических макромолекул и эндогенных красителей-фотосенсибилизаторов, и объяснить данный эффект прямым возбуждением синглетного кислорода и его последующим влиянием как сигнальной (триггерной) молекулы на протекание физиологических процессов в живом организме *Artemia salina* L.

4.8. Исследование зависимости биологического действия излучения от типа его поляризации

Количественные данные, свидетельствующие о различии фотобиологических эффектов (размерно-весовые характеристики и показатели жизнестойкости 50-дневной молоди осетровых рыб в неблагоприятных условиях среды обитания), индуцированных воздействием на эмбрионы при оптимальных условиях линейно-поляризованным и неполяризованным квазимонохроматическим излучением ($P = 2,9 \text{ мВт/см}^2$, $t = 60 \text{ с}$) красного светодиода с длиной волны $\lambda = 631 \text{ нм}$ ($\Delta\lambda = 15 \text{ нм}$), представлены в табл. 4.29.

Таблица 4.29. Влияние облучения эмбрионов на стадии органогенеза линейно-поляризованным и неполяризованным квазимонохроматическим светом светодиодного источника на показатели жизнестойкости 50-дневной молоди осетровых рыб в неблагоприятных условиях среды обитания

Анализируемый параметр	Численное значение		
	Контроль	Воздействие линейно-поляризованным излучением	Воздействие неполяризованным излучением
Устойчивость к дефициту кислорода, мг/мл	$2,13 \pm 0,02$	$1,78 \pm 0,05$	$2,06 \pm 0,02$
Термостойкость, мин	$145,3 \pm 1,1$	$159,7 \pm 4,1$	$149,8 \pm 2,2$
Токсикостойчивость, % живых	0	$5,6 \pm 1,1^{**}$	$2,2 \pm 1,1^{***}$

$^{**}P < 0,001$; $^{***}P < 0,05$.

Из табл. 4.29 видно, что 50-дневная молодь рыб, полученная из эмбрионов, подвергнутых кратковременному однократному воздействию поляризованного света, значительно превосходит контрольных особей по устойчивости к дефициту кислорода в среде обитания, терморезистентности и токсикостойчивости. Достоверность отличий от контроля $P < 0,001$. По некоторым из указанных показателей достоверные отличия

от контроля ($P < 0,05$) вызывает и неполяризованное излучение. Однако, при тех же условиях облучения величина стимулирующего действия для излучения с естественной поляризацией значительно ниже по всем показателям, чем в случае использования излучения с линейной поляризацией. При этом если летальный исход за счет нехватки кислорода в среде обитания для особей контрольной группы наблюдается при пороговой концентрации $[O_2]_к = 2,13 \pm 0,02$ мг/мл, то соответствующие показатели для группы рыб, эмбрионы которой подвергались воздействию поляризованного и неполяризованного излучения, составляют: $[O_2]_о = 1,78 \pm 0,05$ мг/мл ($\gamma_{O_2} = 83,6 \pm 3,0$ %) и $[O_2]_о = 2,06 \pm 0,02$ мг ($\gamma_{O_2} = 96,5 \pm 0,8$ %) соответственно. То есть молодь, полученная из облученных эмбрионов, характеризуется повышенной жизнестойкостью (по сравнению с контрольной группой) в среде обитания с недостаточным кислородом, и этот эффект наиболее выражен для поляризованного излучения. Различие в действии линейно-поляризованного и неполяризованного света наблюдается и при контроле токсикоустойчивости и терморезистентности молоди. Так, если после воздействия токсиканта (сульфата меди в концентрации 0,1 мг/л) в течение 7 сут наблюдается гибель всех особей контрольной группы ($\gamma_{токс} = 0$), то среди молоди, полученной из эмбрионов, облученных поляризованным и неполяризованным светом, процент выживших особей составляет $5,6 \pm 1,1$ и $2,2 \pm 1,1$ % соответственно. При контроле параметров терморезистентности отмечается, что гибель молоди, эмбрионы которой подвергались воздействию поляризованного излучения, наблюдается при более продолжительном воздействии ($t_о = 159,7 \pm 4,1$ мин, $\gamma_t = 109,9 \pm 2,8$ %) на нее экстремальной температуры 32 °С, чем у особей, эмбрионы которых облучались неполяризованным светом ($t_о = 149,8 \pm 2,2$ мин, $\gamma_t = 103,1 \pm 1,5$ %), или у особей контрольной группы ($t_k = 145,3 \pm 1,1$ мин).

С учетом сильной зависимости регуляторного действия оптического излучения от дозовой нагрузки представляет интерес проведение сравнения биологического действия линейно-поляризованного и неполяризованного света в зависимости от времени облучения эмбрионов. Дозовые кривые, отражающие влияние облучения эмбрионов линейно-поляризованным (кривая 1) и неполяризованным (кривая 2) светом квазимонохроматического красного светодиода ($\lambda = 631$ нм, $\Delta\lambda = 15$ нм, $P = 2,9$ мВт/см²) на их устойчивость к неблагоприятным условиям сре-

ды обитания (дефициту кислорода, экстремальной температуре, токсикантам), представлены на рис. 4.18, а, б, в.

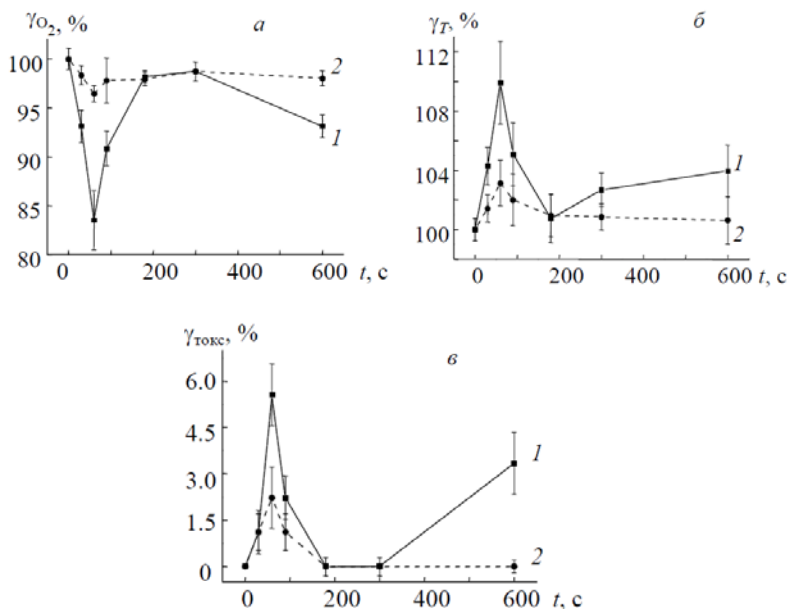


Рис. 4.18. Влияние времени облучения оплодотворенной икры на устойчивость 50-дневной молоди осетровых рыб к дефициту кислорода (а), действию экстремальной температуры (б) и токсикантов в среде обитания (в) для линейно-поляризованного (кривая 1) и неполяризованного квазимонохроматического красного светодиода (кривая 2)

Из графиков следует, что все приведенные дозовые зависимости представляют собой кривые с ярко выраженными максимумами стимулирующего действия при $t = 60$ с (доза $E = 0,17$ Дж/см²) в узком диапазоне доз (0–0,5 Дж/см²). Однако, по всей видимости, кроме данного максимума, в дозовой кривой могут регистрироваться и другие точки экстремумов, соответствующие оптимальному биологическому действию света. На это, в частности, указывает достоверно наблюдаемое при действии поляризованного излучения увеличение размерно-весовых показателей и параметров жизнестойкости молоди при времени облучения икры, равном 600 с (доза $E = 1,7$ Дж/см²). При этом следует отметить, что для неполяризованного излучения при использова-

нии в качестве тестов параметров токсикоустойчивости и терморезистентности, а также устойчивости молоди рыб к дефициту кислорода при указанной дозе фотобиологический эффект отсутствует. Обращает на себя внимание тот факт, что в целом для всех контролируемых в настоящей работе параметров молоди осетровых рыб величина фотобиологического эффекта, индуцируемого неполяризованным излучением, весьма незначительна и ее достоверное отличие от контроля ($P < 0,05$) наблюдается лишь при оптимальных условиях облучения ($t = 60$ с, $E = 0,17$ Дж/см²).

Таким образом, совокупность представленных данных свидетельствует о том, что наблюдаются существенные различия в биологической активности линейно-поляризованного и неполяризованного света в отношении эмбрионов осетровых рыб при контроле размерно-весовых показателей и параметров жизнестойкости в неблагоприятных условиях среды обитания 50-дневной молоди рыб, полученной из указанных эмбрионов.

Как известно, важная информация о первичных механизмах фотобиологических процессов может быть получена в результате анализа результатов влияния на биообъекты излучения с линейной и круговой поляризациями. Количественные данные, отражающие действие на эмбрионы лазерного излучения ($\lambda = 632,8$ нм, $P = 2,9$ мВт/см², $t = 60$ с) с линейной, круговой и естественной поляризациями и основанные на контроле весовых показателей 50-дневной молоди рыб, а также ее устойчивости к дефициту кислорода в среде обитания, представлены на рис. 4.19, а, б.

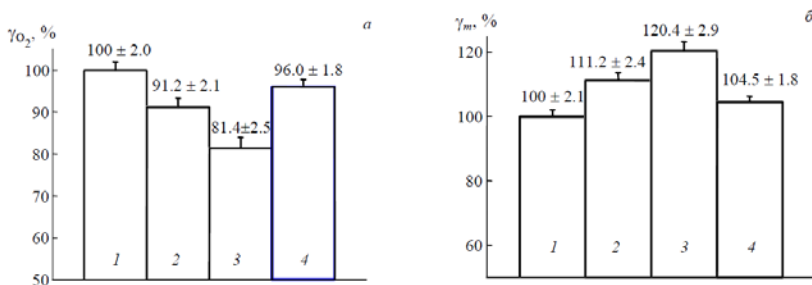


Рис. 4.19. Влияние типа поляризации лазерного излучения, воздействующего на оплодотворенную икру, на устойчивость 50-дневной молоди осетровых рыб к дефициту кислорода (а) и массу особей (б): 1 – контроль; 2 – циркулярно-поляризованное излучение; 3 – линейно-поляризованное излучение; 4 – неполяризованное излучение

Из рис. 4.19, *а* следует, что облучение оплодотворенной икры, отражающееся на эмбриональном и постэмбриональном развитии особей, приводит к снижению (по сравнению с контролем) пороговых концентраций кислорода, при которых наблюдается гибель стандартной молоди. При этом максимальный стимулирующий эффект ($\gamma_{O_2} = 81,4 \pm 2,5$ %, достоверность отличий от контроля $P < 0,001$) наблюдается при воздействии линейно-поляризованного излучения, минимальный – неполяризованного ($\gamma_{O_2} = 96,0 \pm 1,8$ %, $P < 0,05$); излучение с круговой поляризацией по биологической активности имеет промежуточное значение ($\gamma_{O_2} = 91,2 \pm 2,1$ %, $P < 0,001$). Аналогичная закономерность прослеживается и при контроле массы тела молоди (рис. 4.19, *б*). Стимулирующий эффект в данном случае заключается в превышении весовых показателей особей, полученных из облученных эмбрионов, над показателями особей, полученных из эмбрионов, не подвергавшихся действию излучения. При этом показатели стимулирующего действия, индуцированного излучением с линейной, круговой и естественной поляризациями, характеризуются следующими численными значениями: $\gamma_m = 120,4 \pm 2,9$ %, $P < 0,001$; $\gamma_m = 111,2 \pm 2,4$ %, $P < 0,001$; $\gamma_m = 104,5 \pm 1,8$ %, $P < 0,05$.

Следует отметить, что, согласно полученным данным, достоверные отличия наблюдаются не только между каждой опытной группой и контролем, но и между опытными группами ($P < 0,001$), что свидетельствует о различной биологической активности линейно-поляризованного, циркулярно-поляризованного и неполяризованного излучения.

4.9. Исследование зависимости биологической активности излучения от его временной когерентности

Влияние степени когерентности поляризованного оптического излучения на его биологическую активность иллюстрируют данные, представленные на рис. 4.20.

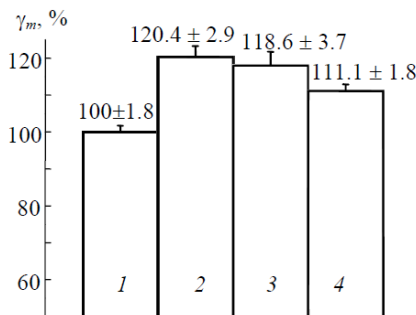


Рис. 4.20. Влияние степени когерентности поляризованного оптического излучения, воздействующего на оплодотворенную икру, на массу 50-дневной молоди осетровых рыб: 1 – контроль; 2 – лазерное излучение; 3 – квазимонохроматическое излучение красного светодиода; 4 – широкополосное излучение белого светодиода

На диаграмме, показанной на рисунке, приведены результаты сравнительных экспериментов (основанных на контроле массы 50-дневной молоди рыб) при воздействии на эмбрионы монохроматическим лазерным излучением ($\lambda = 632,8$ нм, $\Delta\lambda = 0,02$ нм, $L_{\text{ког}} \sim 2000$ мкм), квазимонохроматическим излучением красного светодиода ($\lambda = 631$ нм, $\Delta\lambda = 15$ нм, $L_{\text{ког}} \sim 26$ мкм) и широкополосным излучением белого светодиода ($\lambda = 420\text{--}800$ нм, $\Delta\lambda = 130$ нм, $L_{\text{ког}} < 2,5$ мкм). Для всех вариантов облучения $P = 2,9$ мВт/см², $t = 60$ с. Из представленных данных видно, что биологические эффекты, индуцированные излучением монохроматического лазерного ($\gamma_m = 120,4 \pm 2,9$ %, $P < 0,001$) и квазимонохроматического светодиодного ($\gamma_m = 118,6 \pm 3,7$ %, $P < 0,001$) источников, практически не отличаются. Однако переход к широкополосному излучению сопровождается заметным снижением биологического действия: $\gamma_m = 111,1 \pm 1,8$ %, $P < 0,001$.

Полученные в настоящей работе результаты свидетельствуют о выраженной биологической активности низкоинтенсивного излучения красной области спектра, заключающейся в способности света влиять на постэмбриональное развитие осетровых рыб при кратковременном однократном воздействии на эмбрионы на стадии органогенеза. Экспериментально это проявляется в повышении параметров жизнестойкости стандартной молоди осетровых рыб к воздействию неблагоприятных факторов среды обитания (дефициту кислорода, экстремальной температуре, токсикантам), а также в стимуляции размерно-весовых показателей рыб по сравнению с особями контрольных групп, эмбрио-

ны которых не подвергались воздействию оптического излучения. Эффекты, индуцируемые оптическим излучением, характеризуются высоким уровнем достоверности. Как следует из полученных данных, наиболее существенные различия между показателями опытных и контрольных групп наблюдаются при использовании в качестве тестов устойчивости 50-дневной молоди к дефициту кислорода в среде обитания, а также при контроле массы тела особей. По этой причине большинство сравнительных исследований эффективности воздействия линейно-, циркулярно- и неполяризованного излучения, а также излучения, характеризующегося различной степенью временной когерентности, проведено с использованием указанных тестов.

На основании проведенных исследований, выполненных в условиях воздействия на эмбрионы линейно-поляризованным и неполяризованным квазимонохроматическим излучением ($\lambda = 631$ нм, $\Delta\lambda = 15$ нм) светодиодного источника, а также лазерным излучением ($\lambda = 632,8$ нм, $\Delta\lambda = 0,02$ нм) с линейной, круговой и естественной поляризациями одинаковой интенсивности ($P = 2,9$ мВт/см²), сделан вывод об определяющем значении поляризации излучения в реализации его биологического действия. Максимальный стимулирующий эффект (на размерно-весовые характеристики и показатели жизнестойкости) наблюдается при воздействии линейно-поляризованным излучением; фотобиологический эффект, индуцируемый в том же дозовом интервале светом естественной поляризации (т. е. неполяризованным), значительно менее выражен; величина стимулирующего действия циркулярно-поляризованного излучения имеет промежуточное значение. При оптимальных условиях воздействия на эмбрионы светом красной области спектра ($P = 2,9$ мВт/см², $t = 60$ с) показатели γ_{O_2} , характеризующие устойчивость молоди рыб к нехватке кислорода в среде обитания в опытной группе, превышают таковые для контрольной на 16–19 % ($P < 0,001$) при воздействии линейно-поляризованным, на 9–11 % ($P < 0,001$) при воздействии циркулярно-поляризованным и на 4–5 % ($P < 0,001$) при воздействии неполяризованным излучением. Обращает на себя внимание тот факт, что при воздействии неполяризованным излучением стимулирующее действие хотя и является достоверным ($P < 0,001$), однако величина эффекта очень незначительна.

Как уже отмечалось в исследованиях, выполненных в условиях *in vitro* на клетках крови или культивируемых клетках, неполяризованное излучение не влияет (в отличие от света с линейной поляризацией) на структурно-функциональные характеристики клеточных мембран и

скорость клеточной пролиферации. В этой связи нельзя исключить, что при действии неполяризованного излучения на оплодотворенную икру осетровых рыб (эмбрионы) происходит его частичная поляризация при прохождении через слой меланина, покрывающий икру и придающий ей характерную черную окраску. Как известно, меланин способен формировать сложные нанокolloидные ансамбли мономерных и полимерных молекул и за счет дихроизма поглощения его пленки могут выполнять функцию поляроида. Можно ожидать, что индуцируемая тонким слоем меланина частичная поляризация света и ответственна за регистрируемый фотобиологический эффект при действии на эмбрионы неполяризованного излучения.

Сравнение результатов исследований, выполненных с использованием излучения различной степени временной когерентности, показало, что биологические эффекты (размерно-весовые характеристики и показатели устойчивости рыб к нехватке кислорода среды обитания), индуцируемые линейно-поляризованным излучением монохроматического лазерного (гелий-неоновый лазер, $\lambda = 632,8$ нм, $\Delta\lambda \approx 0,02$ нм, длина когерентности $L_{\text{ког}} \sim 2000$ мкм) и квазимонохроматического светодиодного ($\lambda = 631$ нм, $\Delta\lambda = 15$ нм, $L_{\text{ког}} \sim 26$ мкм) источников, практически не отличаются. Переход же к широкополосному линейно-поляризованному излучению ($\lambda = 420\text{--}800$ нм с максимумами при $\lambda = 453$ и 567 нм; $\Delta\lambda = 130$ нм, $L_{\text{ког}} < 2,5$ мкм) сопровождается снижением биологического действия. Например, при оптимальной дозовой нагрузке на эмбрионы ($P = 2,9$ мВт/см², $t = 60$ с) величина фотобиологического эффекта, оцениваемого по показателям массы 50-дневных особей, составляет $120,4 \pm 2,9$ %, $P < 0,001$ при использовании лазерного излучения, $118,6 \pm 3,7$ % ($P < 0,001$) при использовании квазимонохроматического, $111,1 \pm 1,8$ % ($P < 0,001$) при воздействии широкополосного белого света. При этом следует отметить, что максимум спектра испускания белого светодиода ($\lambda = 567$ нм) сдвинут в коротковолновую область по сравнению с красным светодиодом ($\lambda = 631$ нм), что может быть одной из причин наблюдаемых различий в действии излучения указанных источников. Среди других возможных причин снижения фотобиологических эффектов при переходе от квазимонохроматического к широкополосному источнику выделяют наличие выраженного экранирующего действия со стороны меланина. Спектр электронного поглощения меланина характеризуется гладкой бесструктурной кривой, монотонно снижающейся по мере увеличения длины волны в диапазоне 300–800 нм. По этой причине слой меланина, покрыва-

вающий икру осетровых рыб, выступает в роли своеобразного оптического экрана, прежде всего для сине-зеленой составляющей спектра испускания широкополосного светодиодного источника, снижая интенсивность воздействующего излучения и его фотобиологическую активность. Ответ на данный вопрос может быть получен в ходе последующих исследований. Принципиальный вывод, который следует из представленных данных, состоит в том, что биологической активностью обладают как поляризованное монохроматическое лазерное излучение, так и поляризованный свет квазимонохроматического и широкополосного светодиодных источников, степень временной когерентности которых на 2–4 порядка ниже соответствующего значения лазерного излучения.

Хорошо известно, что при прохождении излучения через биологическую ткань наблюдается его быстрая деполяризация. Возникает естественный вопрос: каким образом в таком случае поляризация излучения может играть определяющую роль в реализации его биологического и терапевтического действия? В этой связи следует отметить, что, согласно литературным данным, свет красной и ближней инфракрасной областей спектра может распространяться в коже человека на глубину приблизительно 1,2 мм, сохраняя еще линейную поляризацию. Цельная кровь характеризуется длиной деполяризации, равной примерно 4,0 мм. По всей видимости, изменения, индуцируемые поляризованным излучением в объеме ткани (в которой еще сохраняется поляризация излучения), генерализуются на весь организм в целом.

По нашему мнению, совокупность полученных данных позволяет сделать вывод о том, что в основе фотофизического механизма, определяющего биологическое действие оптического излучения низкой интенсивности при его воздействии на эмбрионы, кроме диполь-дипольных взаимодействий, лежит ориентационный эффект нефотохимической природы. Как известно, ориентационное действие света наиболее изучено на примере прозрачных нематических жидких кристаллов (НЖК), для которых было показано, что под действием непрерывного лазерного излучения видимой области спектра ($W = 50$ мВт, $P = 10^2\text{--}10^3$ Вт/см²) наблюдается переориентация на десятки градусов, характеризующая направление преимущественной ориентации молекул НЖК. Такая переориентация НЖК получила название светоиндуцированного эффекта Фредерикса. Выбор НЖК для исследования ориентационного действия света не случаен: ориентационная оптическая нелинейность НЖК вследствие плотной упаковки одинаково ориенти-

рованных молекул в домене (способных ориентироваться лишь доменом) на 9 порядков превышает керровскую нелинейность обычных жидкостей. При этом ориентирующее влияние излучения на прозрачные НЖК сводится к прямому силовому действию электрического поля световой волны на индуцированные им молекулярные диполи. Характерно, что основные закономерности, прослеживаемые при ориентационном действии излучения на НЖК (наличие эффекта для линейно- или циркулярно-поляризованного излучения; зависимость эффекта от амплитудного значения мощности излучения; инерционность процесса, требующая воздействия излучения в течение десятков секунд; повышение эффективности переориентации за счет воздействия двух физических факторов: лазерного излучения и постоянного магнитного поля – проявляются и при изучаемых нами фотобиологических процессах. При этом жидкокристаллическое состояние биологических структур (и прежде всего клеточных мембран) в настоящее время является общепризнанным и считается необходимым условием их функционирования. Согласно современным представлениям, биологическая мембрана характеризуется сильно неравномерным (неравновесным) распределением компонентов в липидном бислое: липид-липидные и белок-липидные кластеры, белок-липидные домены, образующие упорядоченные достаточно подвижные области из сотен молекул, в которых плотность упаковки существенно отличается от соседних частей. Характерной особенностью строения мембран является их структурная лабильность и наличие напряженных метастабильных состояний, способных к кооперативным структурным перестройкам под действием внешних сил различной природы. При этом процесс структурных перестроек в мембране не может не приводить к изменению функционирования клеток, включая изменение скорости их пролиферации. Имеются основания полагать, что даже относительно простые биохимические явления – последовательные цепи ферментативных реакций, осуществляемых по эстафетному механизму – могут протекать лишь в структурах (мультиферментных комплексах, образованных 10–15 олигомерными ферментами, состоящими из 2–8 полимерных субъединиц), принципы интеграции и самосборки которых такие же, как и в жидких кристаллах.

Как уже отмечалось, гипотеза об ориентационном действии излучения в отсутствие резонансного поглощения была выдвинута ранее для интерпретации данных, полученных при действии излучения на культивируемые клетки. Один из принципиальных моментов, важных

для объяснения ориентационного нерезонансного механизма действия излучения (как и диполь-дипольных взаимодействий, а также градиентных сил), состоит в выяснении вопроса: откуда берется энергия на переориентацию жидких кристаллов в отсутствие поглощения? Согласно оценкам, указанная работа осуществляется за счет изменения частоты ($\Delta\nu$) света («покраснения квантов»), характеризующегося ничтожно малой величиной ($\Delta\nu / \nu \sim 10^{-15}$).

Следует отметить, что в последние годы получены данные, свидетельствующие о том, что ориентационное действие света на НЖК (зависимое от типа поляризации излучения) проявляется и в случае наличия у них слабого примесного или собственного поглощения. Физические процессы, ответственные за переориентацию поглощающих НЖК, в полной мере не выяснены и являются предметом многочисленных исследований и дискуссий. Считается, что механизм светоиндуцированной переориентации поглощающих НЖК обусловлен изменением характера межмолекулярных взаимодействий при поглощении частью молекул световых квантов. Поскольку ориентационная нелинейность для поглощающих НЖК увеличивается на два порядка по сравнению с прозрачными и средняя мощность излучения, необходимая для эффективной переориентации, не превышает 1 мВт, то это делает наиболее вероятным проявление указанного механизма в реализации изучаемого биологического действия оптического излучения.

4.10. Установка для инкубации икры

На основании результатов проведенных исследований по влиянию оптического излучения низкой интенсивности на биообъекты нами была разработана серия лазерно-оптических приборов для инкубации икры ценных видов рыб.

Технической задачей заявленной установки для инкубации икры является повышение эффективности инкубации, выживаемости эмбрионов рыб в процессе инкубации, повышение выхода личинок из оплодотворенной икры и качества получаемого рыбопосадочного материала.

Поставленная задача решается с помощью установки для инкубации икры, включающей герметичную емкость с патрубком для подачи воды сливным носиком для сброса воды и горизонтально расположенную ниже поверхности воды рамку для икры, обтянутую сеткой с размерами ячеек меньше размеров икры и больше размеров предличинок.

Емкость имеет крышку, выполненную из стекла органического цветного красного, покрытого поляроидной пленкой, и ее можно поворачивать на угол $0-180^\circ$ вокруг оси, зафиксированной на стенке емкости, противоположной сливному носику. Установка также содержит микропроцессор для оценки оптимальной дозы поляризованного излучения, воздействующего на икру, электрически связанный с установленными под крышкой датчиком положения крышки и фотоприемником, приемное окно которого направлено в сторону крышки. Причем фотоприемник срабатывает посредством датчика положения крышки при ее закрытом положении.

Предлагаемое устройство для инкубации икры изображено на рис. 4.21.

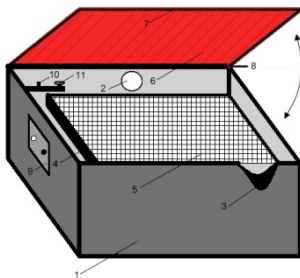


Рис. 4.21. Установка для инкубации икры

Герметичная емкость 1 размером 500 (длина) $\times$ 200 (ширина) $\times$ 100 (высота) мм заполняется водой по патрубку 2. Сброс воды из емкости осуществляется через сливной носик 3, расположенный с противоположного от патрубка 2 края емкости. Рамка 4 для икры, обтянутая сеткой 5 с размерами ячеек меньше размеров икры и больше размеров предличинки, зафиксирована на внутренних сторонах емкости, примерно в 6 см от ее дна. При инкубации икры осетровых рыб размер ячеек сетки составляет 1×1 мм. Отличительной особенностью установки является наличие крышки 6, выполненной из стекла органического цветного красного толщиной 3 мм, марка ТОСП, ГОСТ 17622-72, покрытого поляроидной пленкой 7. Крышка 6 прикреплена к стенке емкости, противоположной сливному носику 3, с возможностью поворота на угол $0-180^\circ$ вокруг оси 8. Установка включает в себя микропроцессор 9 для оценки оптимальной дозы поляризованного излучения, воздействующего на икру. Микропроцессор 9 электрически связан (на

рисунке не показано) с установленными под крышкой датчиком 10 положения крышки и фотоприемником 11, приемное окно (на рисунке не показано) которого направлено в сторону крышки 6. Фотоприемник 11 срабатывает посредством датчика 10 положения крышки при ее закрытом положении. Микропроцессор обеспечивает подачу аудио- и видеосигнала по достижении дозы поляризованного излучения, оптимальной для эмбрионального и постэмбрионального развития особей.

В предлагаемом устройстве в качестве источника излучения может использоваться как солнечный свет, так и искусственное освещение, применяемое в помещении. Требуемый спектральный диапазон излучения из широкополосного белого света выделяется с помощью стекла органического цветного красного, выступающего в качестве оптического фильтра и являющегося крышкой 6 инкубатора. Поляроидная пленка 7, покрывающая крышку 6, предназначена для преобразования света с естественной поляризацией в линейно-поляризованный свет. При открытом положении крышки икра подвергается действию неполяризованного света, который является биологически неактивным и не влияет на эмбриональное и постэмбриональное развитие особей. При закрытом положении крышки икра подвергается действию поляризованного излучения, которое в определенном диапазоне интенсивностей оказывает стимулирующее действие на развитие гидробионтов.

Работа установки для инкубации икры осуществляется следующим образом. Осетровая оплодотворенная икра после обесклеивания размещается на рамке 4 с сеткой 5, с размером ячеек 1×1 мм. Диаметр икры превышает размер ячеек. Процесс инкубации протекает при температуре 16 ± 1 °C в течение 10 ± 1 °C суток. Предварительно емкость 1 через патрубок 2 заполняют водой, таким образом, чтобы икра находилась под слоем воды примерно 0,5–0,8 см. Крышка 6, выполненная из органического стекла, покрытого поляроидной пленкой 7, находится в закрытом или открытом состоянии. На стадии от смыкания нервных валиков до начала пульсации сердца (24–28-я стадии эмбрионального развития) икра через крышку подвергается воздействию поляризованного излучения. Величина стимулирующего действия, индуцируемого поляризованным излучением, в значительной степени зависит от дозы света. Поскольку интенсивность света (как солнечного, так и искусственного) может сильно изменяться в зависимости от времени суток, поры года, облачности, количества включенных источников излучения (ламп), срока их эксплуатации и высоты расположения над установкой для инкубации икры, то для контроля оптимальной дозы поляризованного излучения установка имеет микропроцессор 9, электрически связанный с датчиком 10 положения крышки и фотоприем-

ником 11, установленными под крышкой 6. Показания микропроцессора 9 откалиброваны таким образом, что обеспечивают контроль воз- действующей дозы поляризованного излучения, прошедшего через крышку 6 и поляроидную пленку 7. Причем срабатывание фотоприем- ника происходит после перевода крышки в положение «закрыто». При открытом положении крышки икра подвергается действию непо- ляризованного излучения, которое биологически не активно. При за- крытом положении крышки после набора оптимальной дозы на мик- ропроцессоре загорается сигнальный светодиод (видеосигнал), а также включается звуковой сигнал (аудиосигнал), свидетельствующие о необходимости прекращения воздействия поляризованного излучения. Прекращение воздействия биологически активного поляризованного излучения осуществляется путем поднятия крышки.

В течение всего периода инкубации осуществляется принудитель- ная смена воды, которая достигается ее поступлением по патрубок 2 и стоком через сливной носик 3.

Выклюнувшиеся личинки свободно плавают в толще воды всей установки. После завершения выклева рамку с сеткой с остатками обо- лочек икры убирают, а личинки извлекают из установки путем слива воды через сливной носик и помещают в бассейн или садок для под- ращивания.

В табл. 4.30 приведены значения выхода 1-дневных личинок из оплодотворенной икры, которая инкубировалась в емкости, не содер- жащей крышки, покрытой поляроидной пленкой (контрольная группа, прототип), и в предлагаемой установке для инкубации икры, обеспечи- вающей воздействие на нее поляризованным светом (опытная группа).

Таблица 4.30. Значения выхода 1-дневных личинок из оплодотворенной икры, инкубированной под воздействием поляризованного и неполяризованного излучения

Группа	Процент выживших личи- нок на стадии выклева	Достоверность отли- чий от контроля
Контрольная (прототип)	$69 \pm 1,0$	—
Опытная (предлагаемое устройство)	$75,4 \pm 2,3$	$P < 0,001$

Из представленных данных следует, что инкубация оплодотворен- ной осетровой икры в предлагаемой установке приводит к повыше- нию, по сравнению с прототипом, выхода личинок из оплодотворен- ной икры. Так, если в контрольной группе выживаемость на стадии выклева составляет $69 \pm 1,0$ %, то в опытной группе – $75,4 \pm 2,3$ % (до- стоверность отличий от контроля $P < 0,001$).

Стимулирующее действие поляризованного излучения не только влияет на выходе 1-дневных личинок из оплодотворенной икры, но и приводит к увеличению (по сравнению с прототипом) размерно-весовых показателей молоди рыб, полученной из облученной икры.

В табл. 4.31 приведены размерно-весовые показатели 50-дневной молоди осетровых рыб, эмбрионы которых инкубировались в емкости, не содержащей крышки с поляроидной пленкой (контрольная группа, прототип), в предлагаемой установке для инкубации икры, обеспечивающей воздействие на нее поляризованным светом (опытная группа).

Таблица 4.31. Значения размерно-весовых показателей 50-дневной молоди осетровых рыб, эмбрионы которых инкубировались под воздействием поляризованного и неполяризованного излучения

Группа	Средняя масса M , мг	Величина стимулирующего действия γ_m %	Средняя длина L , мм	Величина стимулирующего действия γ_d %
Контрольная (прототип)	$566,3 \pm 9,5$	100	$47,0 \pm 0,5$	100
Опытная (предлагаемое устройство)	$635,9 \pm 15,3$	$112,3 \pm 2,7^*$	$52,5 \pm 0,3$	$111,7 \pm 0,7^{***}$

* $p < 0,05$; *** $p < 0,001$.

Из представленных данных следует, что инкубация оплодотворенной осетровой икры в предлагаемой установке приводит к увеличению, по сравнению с прототипом, размерно-весовых показателей молоди осетровых рыб. Так, длина особей в контрольной группе составила $47,0 \pm 0,5$ мм, а в опытной – $52,5 \pm 0,3$ мм, т. е. величина стимулирующего действия ($\gamma_d = (L_o / L_k) \cdot 100$ %, где L_o – длина молоди осетровых рыб в опытной группе, мм; L_k – длина молоди осетровых рыб в контрольной группе, мм) составляет $111,7 \pm 0,7$ %, достоверность отличий от контроля $P < 0,001$. Масса молоди в контрольной группе составляет $566,3 \pm 9,5$ мг, а в опытной – $635,9 \pm 15,3$ мг, т. е. величина стимулирующего действия ($\gamma_m = (M_o / M_k) \cdot 100$ %, где M_o – масса молоди осетровых рыб в опытной группе, мг; M_k – масса молоди осетровых рыб в контрольной группе, мг) составляет $112,3 \pm 2,7$ %, достоверность отличий от контроля $P < 0,05$.

Таким образом, заявляемая установка позволяет обеспечить повышение эффективности искусственного воспроизводства и выращивания осетровых рыб за счет повышения выживаемости эмбрионов и личинок, увеличения размерно-весовых показателей молоди осетровых

рыб, а также оптимизации технологии товарной аквакультуры при низкой стоимости оборудования для ее реализации.

4.11. Лазерно-оптический прибор для инкубации икры «Sturgeon»

На основании результатов проведенных исследований был спроектирован лазерно-оптический прибор для воздействия на икру рыб (преимущественно осетровых видов).

Прибор позволяет осуществлять воздействие на икру непосредственно в инкубационном аппарате, не прерывая технологического процесса инкубации.

Общий вид прибора представлен на рис. 4.22–4.25.

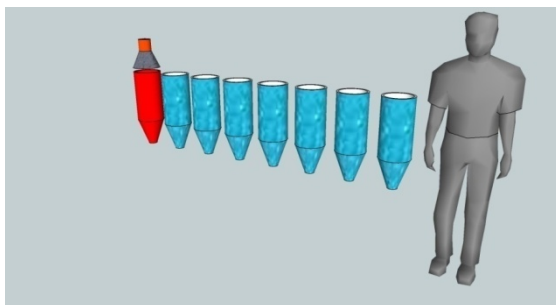


Рис. 4.22. Общий вид лазерно-оптического прибора «Sturgeon» для инкубационных аппаратов Вейса



Рис. 4.23. Расположение лазерно-оптического прибора «Sturgeon» на инкубационном аппарате Вейса



Рис. 4.24. Общий вид расположения лазерно-оптического прибора «Sturgeon» на инкубационном аппарате Вейса

Технической задачей разработанной установки является повышение эффективности инкубации, выживаемости эмбрионов рыб в процессе инкубации, выхода личинок из оплодотворенной икры и качества получаемого рыбопосадочного материала.

Поставленная задача решается с помощью установки для инкубации икры «Sturgeon», включающей открытую герметичную емкость (как правило, изготовленную из стекла или любого другого материала), выполненную в форме перевернутой бутылки без дна с нижним патрубком для подачи воды или в любой другой форме с любым расположением патрубка для подачи воды. Над открытой герметичной емкостью располагается лазерно-оптическое устройство для воздействия на икру и личинок рыб, включающее источники лазерного и светодиодного излучения, а также приборы для включения излучения и регулирования времени и режима воздействия (рис. 4.25).



Рис. 4.25. Лазерно-оптический прибор для инкубации икры «Sturgeon» расположенный на инкубационном аппарате «Вейса»

Установка для инкубации икры представляет собой открытую сверху, прозрачную герметичную емкость, выполненную в форме перевернутой бутылки без дна с нижним патрубком для подачи воды и патрубком в виде сливного носика для ее сброса, расположенным вблизи верхней кромки емкости, над открытой герметичной емкостью расположен модуль оптического излучения, обращенный излучающей частью к воде, заполняющей емкость, таким образом, что диаграмма направленности излучения перпендикулярна плоскости поверхности воды. Данный модуль электрически связан с модулем питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью.

Предлагаемое устройство включает следующие элементы:

- 1) герметичная емкость;
- 2) нижний патрубок;
- 3) сливной носик;
- 4) модуль оптического излучения;
- 5) модуль питания и управления.

Прозрачная герметичная емкость заполняется водой с помощью нижнего патрубка. Сброс воды из емкости осуществляется через сливной носик, расположенный вблизи ее верхней кромки. Над открытой герметичной емкостью располагается модуль оптического излучения на базе полупроводниковых лазеров и (или) светодиодных источников для воздействия на икру и личинок рыб, электрически связанный с модулем питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью.

В герметичную емкость загружается икра рыб. Расход подаваемой воды и ее качество зависят от рыбоводно-технологических параметров, предъявляемых конкретным видом рыб. За счет того что икра тяжелее воды, нормативный поток воды создает благоприятные условия для водо- и газообмена, но не допускает выброс икры за пределы емкости. Над открытой герметичной емкостью располагается модуль оптического излучения для воздействия на икру и личинок рыб. Модуль оптического излучения электрически связан с модулем питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью.

Модуль оптического излучения может быть как механически связан с корпусом герметичной емкости, так и выполнен отдельно от него. В первом случае модуль оптического излучения механически фиксируют к корпусу герметичной емкости; во втором – в специальном

держателе (позиция не указана). При фиксации модуля оптического излучения к корпусу герметичной емкости обеспечивается неизменность условий воздействия излучения на икру и личинок рыб в процессе фотовоздействия. Во втором случае, когда модуль оптического излучения механически не связан с герметичной емкостью, легко реализуется поочередное воздействие оптическим излучением на икру и личинок рыб в различных герметичных емкостях путем перемещения модуля оптического излучения 4 от одной емкости к другой.

Конструктивно установку для инкубации икры и, в частности, модуль оптического излучения выполняют в различных вариантах.

1. Модуль оптического излучения выполнен на базе полупроводникового лазера с оптическим преобразователем пучка лазерного излучения, формирующим на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости. В данном случае излучатель полупроводникового лазера с оптическим преобразователем пучка лазерного излучения располагают вдоль оси симметрии герметичной емкости на таком расстоянии от поверхности воды, чтобы размер светового пятна на поверхности воды соответствовал внутреннему диаметру герметичной емкости. При этом расстояние от поверхности излучателя до поверхности воды определяется расходимостью излучения. Поскольку излучение полупроводникового лазера является поляризованным, то такое воздействие на биообъекты при соответствующем выборе параметров оптического излучения обеспечивает стимулирующее влияние на эмбриональное и постэмбриональное развитие особей.

2. Модуль оптического излучения выполнен на базе матрицы одинаковых полупроводниковых лазеров (лазеров одной длины волны), которая может быть сформирована отдельно расположенными лазерными излучателями, каждый из которых содержит оптические преобразователи пучка лазерного излучения, формирующие на поверхности воды перекрывающиеся световые пятна. При этом суммарное световое пятно, сформированное матрицей полупроводниковых лазеров с оптическими преобразователями пучка, соответствует внутреннему диаметру герметичной емкости. Наряду с этим матрица лазерных излучателей может быть выполнена путем объединения в единый излучатель отдельных лазерных диодов или их линеек с общим для целой матрицы оптическим преобразователем пучка, формирующим на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости.

3. Модуль оптического излучения выполнен на базе матрицы полупроводниковых лазеров различных длин волн с оптическими преобразователями пучка лазерного излучения, формирующими на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости, при этом модуль питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью обеспечивает комбинированное последовательное воздействие излучением различных длин волн и регулирование длительности паузы между воздействиями. Данный вариант исполнения установки для инкубации икры обеспечивает возможность комбинированного воздействия на гидробионты лазерным излучением различного спектрального диапазона, что значительно усиливает стимулирующее действие физического фактора.

4. Модуль оптического излучения выполнен на базе светодиодного источника, который совместно с оптическим преобразователем пучка излучения формирует на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости. В данном случае светодиодный излучатель с оптическим преобразователем пучка оптического излучения располагают вдоль оси симметрии герметичной емкости на таком расстоянии от поверхности воды, чтобы размер светового пятна на поверхности воды соответствовал внутреннему диаметру герметичной емкости. При этом расстояние от поверхности светодиодного излучателя до поверхности воды определяется расходимостью излучения.

5. Для повышения интенсивности светового воздействия на гидробионты модуль оптического излучения одного спектрального диапазона может быть выполнен на базе матрицы светодиодных источников с оптическими преобразователями пучка излучения, формирующими на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости. Матрица светодиодных источников может быть сформирована отдельно расположенными светодиодными излучателями, каждый из которых содержит оптические преобразователи пучка оптического излучения, формирующие на поверхности воды перекрывающиеся световые пятна. При этом суммарное световое пятно, сформированное матрицей светодиодных излучателей с оптическими преобразователями пучка, соответствует внутреннему диаметру герметичной емкости. Наряду с этим матрица светодиодных излучателей может быть выполнена путем объединения в единый излучатель отдельных светодиодов или их линеек с общим для целой матрицы

оптическими преобразователем пучка, формирующим на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру емкости.

6. Модуль оптического излучения выполнен на базе матрицы светодиодных излучателей различного спектрального диапазона, формирующих совместно с оптическими преобразователями пучка излучения на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости. При этом модуль питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью обеспечивает комбинированное последовательное воздействие излучением различного спектрального диапазона и регулирование длительности паузы между воздействиями. Данный вариант исполнения установки для инкубации икры обеспечивает возможность комбинированного воздействия на гидробионты оптическим излучением различного спектрального диапазона, что значительно усиливает стимулирующее действие физического фактора.

7. Поскольку, как правило, излучение светодиодных источников является неполяризованным, а биологическое действие оптического излучения зависит от степени его поляризации, то разработан еще один вариант исполнения установки для инкубации икры, в котором предполагается расположение на выходе светодиодного источника или на выходе оптического преобразователя пучка оптического излучения поляризационной пленки таким образом, чтобы плоскость поляризационной пленки была перпендикулярна диаграмме направленности излучения светодиодного источника. Это позволяет обеспечить воздействие на гидробионты линейно-поляризованного излучения.

Так как использование поляризационной пленки повышает регулирующее действие оптического излучения, то данный вариант исполнения установки для инкубации икры на базе светодиодных излучателей представляется наиболее целесообразным. Однако в этом случае более половины мощности излучения светодиодных источников поглощается самой пленкой, что приводит к дополнительным энергозатратам.

По этой причине в одном из вариантов исполнения установки для инкубации икры предполагается, что конструктивно светодиодный источник оптического модуля обеспечивает получение поляризованного излучения без использования поляризационной пленки. Светодиодные устройства для получения поляризованного излучения активно разрабатываются в последние годы.

Воздействие лазерным излучением или излучением светодиодных источников осуществляют на рекомендуемых стадиях, в рекомендуемых дозировках в зависимости от конкретного вида рыб.

В табл. 4.32 приведены значения выхода 1-дневных личинок из оплодотворенной икры для двух групп. В одной группе икра инкубировалась в герметичной емкости, которая не подвергалась воздействию оптического излучения, а в другой (опытной) – в заявляемой установке для инкубации икры, обеспечивающей воздействие на нее лазерным излучением низкой интенсивности.

Таблица 4.32. Значение выхода 1-дневных личинок из оплодотворенной икры, инкубированной под воздействием оптического излучения и лазерного излучения низкой интенсивности

Группа	Процент выживших личинок на стадии выклева	Достоверность отличий от контроля
Контрольная (прототип)	$69 \pm 2,7$	–
Опытная (предлагаемое устройство)	$85,4 \pm 4,3$	$P < 0,001$

Из представленных данных следует, что инкубация оплодотворенной осетровой икры в заявляемой установке приводит к повышению, по сравнению с прототипом, выхода личинок из оплодотворенной икры. Так, если в контрольной группе выживаемость на стадии выклева составила $69 \pm 2,7$ %, то в опытной $85,4 \pm 4,3$ % (достоверность отличий от контроля $P < 0,001$).

Стимулирующее действие поляризованного излучения не только влияет на выходе 1-дневных личинок из оплодотворенной икры, но и приводит к увеличению (по сравнению с прототипом) размерно-весовых показателей молоди рыб, полученных из облученной икры.

В табл. 4.33 приведены размерно-весовые показатели 50-дневной молоди осетровых рыб для двух групп эмбрионов. В одной группе эмбрионы инкубировались в герметичной емкости, которая не подвергалась воздействию оптического излучения, а в другой (опытной) – в заявляемой установке для инкубации икры, обеспечивающей воздействие на нее лазерным излучением низкой интенсивности.

Таблица 4.33. Значения размерно-весовых показателей 50-дневной молоди осетровых рыб, эмбрионы которых инкубировались под воздействием оптического излучения и лазерного излучения низкой интенсивности

Группа	Средняя масса, M , мг	Величина стимулирующего действия γ_m , %	Средняя длина, L , мм	Величина стимулирующего действия, γ_d , %
Контрольная (прототип)	530,3 ± 8,2	100	44,0 ± 0,9	100
Опытная (предлагаемое устройство)	735,6 ± 10,0	138,7 ± 7,7*	58,5 ± 0,8	132,9 ± 0,6*

* $P < 0,05$

Из представленных данных следует, что инкубация оплодотворенной осетровой икры в предлагаемой установке приводит к увеличению, по сравнению с прототипом, размерно-весовых показателей молоди осетровых рыб. Так, длина особей в контрольной группе составила $44,0 \pm 0,9$ мм, а в опытной – $58,5 \pm 0,8$ мм, т. е. величина стимулирующего действия ($\gamma_d = (L_o / L_k) \cdot 100$ %, где L_o – длина молоди осетровых рыб в опытной группе, мм; L_k – длина молоди осетровых рыб в контрольной группе, мм) составляет $132,9 \pm 0,6$ %, достоверность отличий от контроля $P < 0,05$. Масса молоди в контрольной группе составила $530,3 \pm 8,2$ мг, а в опытной группе этот показатель составляет $735,6 \pm 10,0$ мг, т. е. величина стимулирующего действия ($\gamma_m = (M_o / M_k) \cdot 100$ %, где M_o – масса молоди осетровых рыб в опытной группе; M_k – масса молоди осетровых рыб в контрольной группе, мм) составляет $138,7 \pm 7,7$ %, достоверность отличий от контроля $P < 0,05$.

Таким образом, заявляемая технология позволяет обеспечить повышение эффективности искусственного воспроизводства и выращивания осетровых рыб за счет повышения выживаемости эмбрионов и личинок, увеличения размерно-весовых показателей молоди рыб, а также оптимизации технологии товарной аквакультуры при низкой стоимости оборудования для ее реализации.

4.12. Рекомендации по использованию установки для инкубации икры радужной форели «Стронга»

На основании результатов полученных исследований был спроектирован лазерно-оптический прибор для воздействия на икру рыб

(преимущественно лососевых видов) с целью повышения эффективности инкубации.

Прибор позволяет осуществлять воздействие на икру непосредственно в инкубационном аппарате, не прерывая технологический процесс инкубации.

Общий вид прибора представлен на рис. 4.26. Расположение его на инкубационных аппаратах лоткового типа представлены на рис. 4.27–4.28.

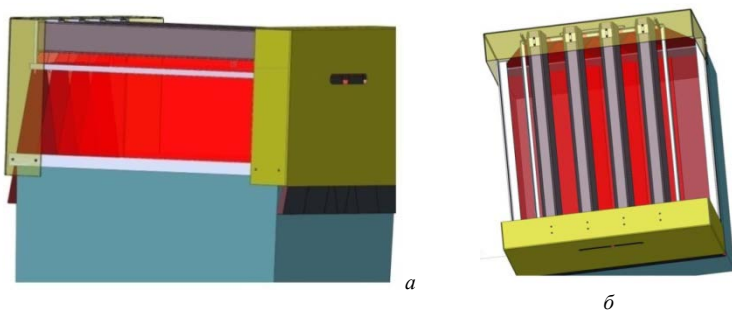


Рис. 4.26. Общий вид лазерно-оптического прибора: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху

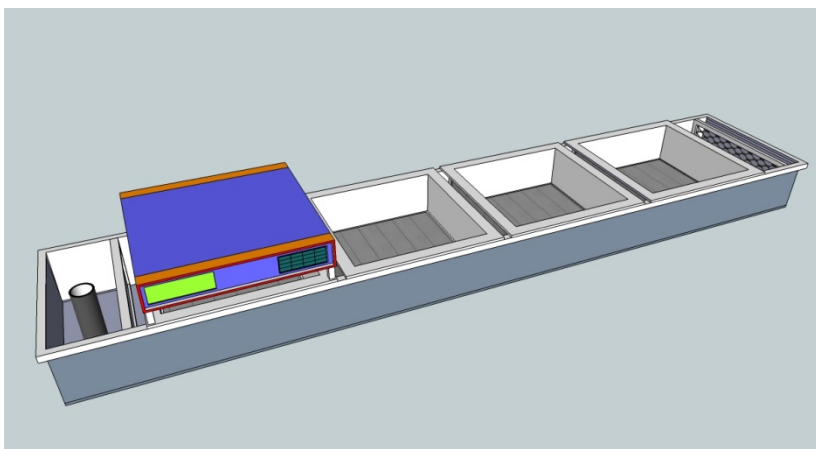


Рис. 4.27. Расположение лазерно-оптического прибора на инкубационном аппарате лоткового типа SDK

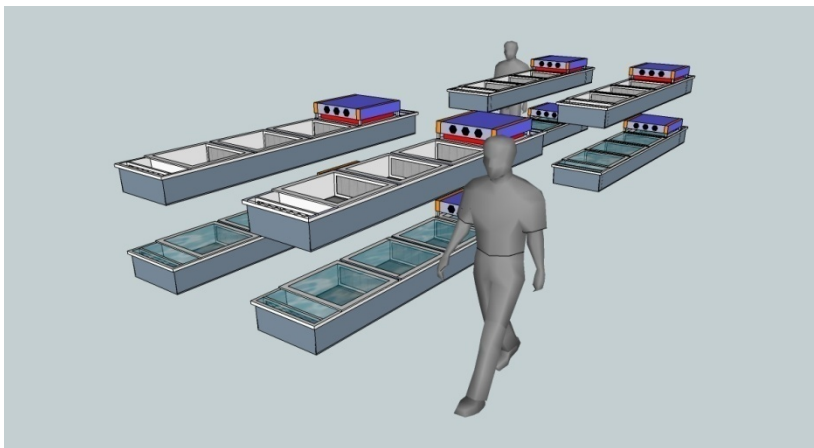


Рис. 4.28. Общий вид расположения инкубационных аппаратов лоткового типа с лазерно-оптическими приборами в рыбном цеху

Сотрудниками кафедры ихтиологии и рыбоводства УО БГСХА совместно с сотрудниками Института физики Национальной академии наук Беларуси разработана проектная документация для создания лазерно-оптического прибора для инкубационных аппаратов лоткового типа.

Общая масса готового изделия – 19,1 кг. Размеры – 313×512×512 мм.

Модуль оптического излучения выполнен на базе полупроводникового лазера с оптическим преобразователем пучка лазерного излучения, формирующим на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру герметичной емкости, а также на базе матрицы полупроводниковых лазеров с оптическими преобразователями пучка лазерного излучения, формирующими на поверхности воды световое пятно, соответствующее внутреннему диаметру. Конструктивно светодиодный источник оптического модуля обеспечивает получение поляризованного излучения. Над открытой герметичной емкостью располагается модуль оптического излучения на базе полупроводниковых лазеров и (или) светодиодных источников для воздействия на икру и личинок рыб, электрически связанный с модулем питания и управления параметрами воздействующего излучения и его длительностью. В герметичную емкость загружается икра рыб. Расход

подаваемой воды и ее качество зависят от рыбоводно-технологических параметров, предъявляемых в конкретному виду рыб. Модуль оптического излучения может быть как механически связан с корпусом герметичной емкости, так и выполнен отдельно от него. В первом случае модуль оптического излучения механически фиксируют к корпусу герметичной емкости; во втором случае модуль оптического излучения фиксируют в специальном держателе. При фиксации модуля оптического излучения к корпусу герметичной емкости обеспечивается неизменность условий воздействия излучения на икру и личинок рыб в процессе фотовоздействия. Во втором случае, когда модуль оптического излучения механически не связан с герметичной емкостью, легко реализуется поочередное воздействие оптическим излучением на икру и личинок рыб, расположенных в различных герметичных емкостях, путем перемещения модуля оптического излучения от одной емкости к другой.

Технической задачей инкубационного аппарата «Стронга» (рис. 4.29) является повышение эффективности инкубации, выживаемости эмбрионов рыб в процессе инкубации, выхода личинок из оплодотворенной икры и качества получаемого рыбопосадочного материала.

Установка для инкубации икры и выращивания личинок рыб «Стронга» включает открытую герметичную емкость № 1, выполненную в форме ящика, и рамки на дне и на одной из боковых стенок, обтянутые металлической тканой сеткой для задерживания икры и личинок и пропуска воды для водоснабжения. Рамки с сеткой зафиксированы таким образом, чтобы расположенные на них икра и личинки были ниже поверхности воды. Размер ячеек сетки меньше размеров икринок, что исключает их проваливание через ячейки. Герметичная емкость № 1 располагается в рыбоводном лотке, представляющем собой герметичную емкость № 2, включающую патрубок для слива воды. Над герметичной емкостью № 1 располагается лазерно-оптическое устройство для воздействия на икру и личинок рыб, включающее короб, в котором располагаются источники лазерного и светодиодного излучения, а также приборы для включения излучения и регулирования времени и режима воздействия.

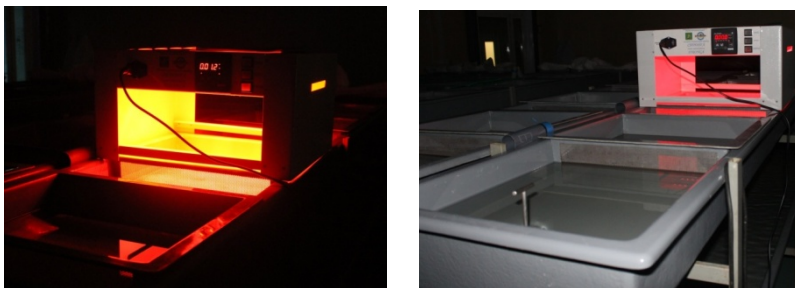


Рис. 4.29. Установка для инкубации икры и выращивания личинок рыб «Стронга»

Порядок применения. На герметичную емкость № 1 помещается лазерно-оптическое устройство. Герметичная емкость № 2 заполняется водой на уровень не более 18 см, при этом необходимо создавать постоянную подачу воды. Расход и качество воды зависят от вида инкубируемой икры и выращиваемых личинок и определяются технологическими регламентами. Герметичная емкость № 1 (инкубатор) помещается в герметичную емкость № 2 (лоток), при этом вода, находящаяся в лотке, поступает в инкубатор через сетки, имеющиеся на дне его и на одной из боковых стенок. В инкубатор выкладывается икра или помещаются личинки согласно общепринятым рыбоводно-биологическим требованиям. Затем включается лазерно-оптическое устройство. В зависимости от вида инкубируемой икры и выращиваемых личинок выставляется оптимальный режим воздействия.

4.13. Оценка жизнестойкости молоди осетровых рыб, выращенных в установках замкнутого водоснабжения Беларуси

Для повышения эффективности заводского воспроизводства осетровых в рыбоводных хозяйствах в существующую биотехнику вносят коренные изменения. Проводятся мероприятия по сокращению количества и рациональному использованию производителей, снижению потерь на всех этапах биотехнического процесса, повышению жизнестойкости выпускаемого посадочного материала [154]. Проблемой товарного осетроводства является получение жизнеспособной молоди и адаптация ее к искусственным условиям содержания. Однако интенсивное выращивание молоди неизбежно ведет к существенному изменению условий содержания, увеличению стрессовых нагрузок на

организм рыб и, как следствие, ухудшению их физиологического состояния. Особенно напряженные условия складываются в УЗВ [186].

Наиболее традиционным способом оценки качества молоди осетровых и лососевых рыб, выращенной на рыбоводных заводах, является ее размерно-весовая характеристика. В индустриальном осетроводстве долгое время шла дискуссия о стандарте заводской молоди. Ряд исследователей [110] считал, что стандартную навеску заводской молоди осетровых рыб можно снизить до 1–2 г, поскольку мальки такого веса уже прошли начальные этапы развития и имеют хорошо развитые наружные приспособления – жучки. Другие [109] предлагали выращивать молодь до более высоких навесок (3 г и выше), так как крупная молодь менее доступна для хищников и возрастает вероятность ее выживания в естественном водоеме. Кроме того, основная гибель в естественных условиях приходится не на эмбриональный период, а на ранние стадии развития личинок и молоди. Отсюда следует, что для увеличения вероятности выживания до промыслового возраста необходимо выпускать в естественные водоемы не личинок, а подростую жизнестойкую молодь.

Между тем вес молоди не может адекватно характеризовать качество выращенной молоди, ее биологическую полноценность, в основе которой лежит физиолого-биохимическая сформированность организма, определяющая возможности его адаптации к абиотическим и биотическим факторам водной среды, их резким изменениям, которые неизбежно возникают при смене среды обитания молоди, выращенной на заводах [96]. Следовательно, под качеством заводской молоди осетровых следует понимать степень ее жизнестойкости, т. е. устойчивости к разнообразным факторам внешней среды. Значит, основным критерием оценки заводской молоди должен быть оптимальный уровень ее жизнестойкости. Жизнестойкость – фундаментальное свойство биологической системы на любом этапе онтогенеза. Особая значимость этого свойства определяется еще и тем, что жизнестойкость, или устойчивость, биологической системы относится ко всей системе в целом, хотя определить нарушения этой устойчивости можно по одной из многих функциональных систем.

Для экспериментальной оценки степени жизнестойкости в практике рыбоводства используют различные экспресс-тесты:

- оценка физиологического состояния молоди осетровых по «фоновым» реакциям пигментных клеток [86];
- эколого-физиологический метод функциональных нагрузок [96];

- гистофизиологические и биохимические методики [123];
- поведенческие методы [123];
- нейрофармакологическое тестирование [40].

Цель наших исследований заключалась в оценке критерия жизнестойкости заводской молоди осетровых рыб выращенной в установках замкнутого водоснабжения Республики Беларусь.

Известно [96], что резкие перепады температуры и дефицит кислорода сами по себе оказывают мощное отрицательное влияние на рост и развитие, численность и продуктивность различных видов рыб и их кормовых организмов. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на изучение пределов устойчивости гидробионтов к экстремальным значениям экологических факторов водной среды. Концентрация растворенного кислорода – важнейший фактор водной среды, который как в искусственных условиях, так и в условиях заводского подращивания молоди рыб подвержен значительным колебаниям. В случае дефицита растворенного в воде кислорода у заводской молоди может наблюдаться ряд морфологических отклонений: уродства головы, микроцефалия (снижение размеров мозга), недоразвитость жабр, дефекты органов обоняния и др. Чаще всего такая рыба сильно отстает в размерно-весовых показателях от нормально развивающихся особей [42]. Более того, значительный недостаток растворенного в воде кислорода способен вызвать массовую гибель молоди.

Проведенные опыты показали (табл. 4.34), что средний порог устойчивости к дефициту кислорода личинок возвратного гибрида бестера составил 2,1 мг/л; у ленского осетра этот показатель – 1,58 мг/л, а в литературных данных [96] пороговая устойчивость к дефициту кислорода для заводской молоди осетра составила 2,1 мг/л.

Таблица 4.34. Показатели жизнестойкости молоди осетровых рыб, выращенных в условиях замкнутого водоснабжения

№ п/п	Вид	Оксирезистентность, мг/л	Голодание, ч	Терморезистентность, мин
1	Стерлядь × бестер (F_1)	2,1 ± 0,02	307 ± 1,10	145,27 ± 1,10
2	Ленский осетр	1,58 ± 0,05	384 ± 3,15	210,0 ± 1,62
3	Литературные данные (осетр)	2,1	384	188

Устойчивость заводской молоди осетровых рыб к голоданию является одним из параметров оценки качества всей технологии подращивания [96]. Проведенные опыты по определению устойчивости молоди к голоданию показали, что средняя продолжительность голодания личинок возвратного гибрида бестера составила 307 ч; у ленского осетра этот показатель составил 384 ч, что соответствует стандартным значениям.

Температура водной среды уже в течение длительного периода признается ключевым экологическим фактором управления ростом и воспроизводством рыбы [263, 371]. Температурный режим оказывает влияние на физиологическое состояние молоди осетровых на всех этапах ее выращивания в заводских условиях, и, в первую очередь, во время длительной задержки молоди в прудах, когда он подвержен значительным колебаниям [96].

Проведенные опыты, что среднее время выживания молоди возвратного гибрида бестера (стерлядь × бестер (F_1)) составляет 145 мин. Как видно из диаграммы (рис. 4.30), уровень терморезистентности 145 мин оказался пороговым для 46,67 % исследуемых особей возвратного гибрида бестера. При этом минимальный уровень составил 135 мин, а максимальный – 155 мин.

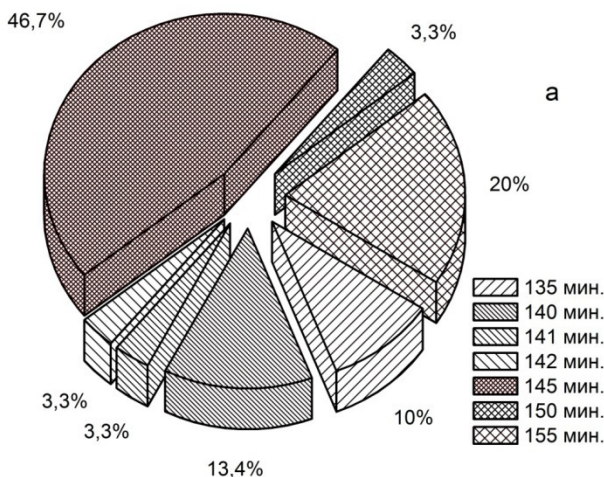


Рис. 4.30. Долевое отношение различных групп терморезистентности у возвратного гибрида бестера

Среднее время выживания личинок ленского осетра составило 210 мин, что превосходит стандартное значение [109] на 11,7 %. Уровень терморезистентности 210 мин оказался пороговым для 20 % шт. (рис. 4.31). Минимальный уровень терморезистентности составил 185 мин, а максимальный – 235 мин.

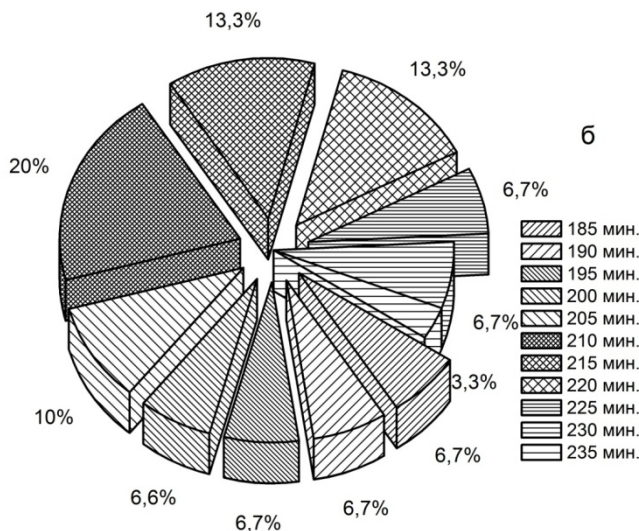


Рис. 4.31. Долевое отношение различных групп терморезистентности у ленского осетра

Данные сравнительного анализа показателей двигательной активности в тесте «открытое поле» молоди осетровых рыб приведены в табл. 4.35.

Таблица 4.35. Показатели двигательной активности молоди осетровых рыб

Вид	ОА, ед./мин	ФА, ед./мин	РА, ед./мин	ПА, %	ПР, %
Ленский осетр	21,8	19,4	17,1	112,3	88,1
Литературные данные (осетр).	14,20	11,35	11,20	125,11	98,67

Как видно из представленных данных, в условиях замкнутого водоснабжения молодь осетровых характеризуется некоторым притуплением реакции в ответ на раздражители, что, очевидно, связано с привы-

канием к постоянным стрессовым ситуациям, являющимся следствием рыбоводных процессов в УЗВ.

Способность к осуществлению «фоновых» реакций меланофов у рыб зависит от ряда эндогенных факторов и от внешних условий. Поэтому этот показатель наряду с другими может быть использован при характеристике физиологической полноценности продукции рыбоводных заводов. В осуществлении «фоновых» реакций принимают участие не только меланофоры кожи, но и меланофоры, располагающиеся внутри тела рыб, образующие так называемую перивисцеральную пигментацию (пигментацию внутренних органов) [86]. Состояние меланофоров характеризуется величиной меланофорного индекса (mi), максимальное значение которого равно 5, что соответствует максимальной дисперсии пигмента, а минимальное, равное 1, – максимальной его агрегации.

Результаты проведенных исследований по оценке способности молоди осетровых к осуществлению «фоновых» реакций меланофоров представлены на рис. 4.32, 4.33.

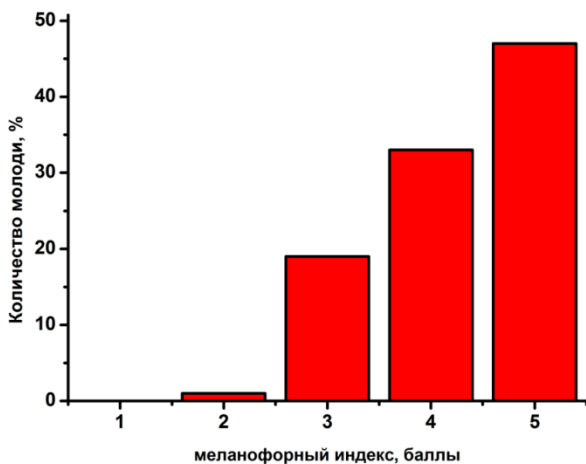


Рис. 4.32. Оценка способности молоди ленского осетра к осуществлению «фоновых» реакций меланофоров (темная емкость)

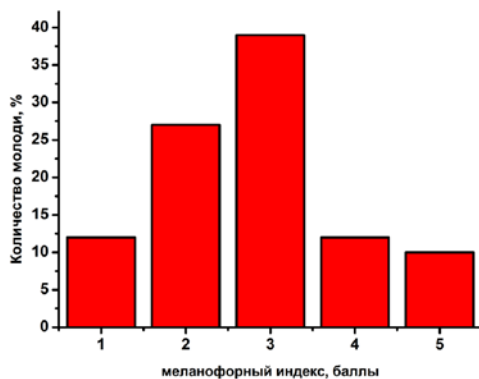


Рис. 4.33. Оценка способности молоди ленского осетра к осуществлению «фоновых» реакций меланофоров (белая емкость)

Результаты проведенной оценки «фоновой» реакции меланофоров установили, что молодь ленского осетра характеризовалась неполной дисперсией пигмента (темная емкость) и сильными нарушениями в агрегации пигмента (белая емкость). Полученные результаты свидетельствуют о нарушениях у молоди осетровых рыб, выращенных в УЗВ, адаптивных функций и, соответственно, о нарушениях в нормальном функционировании всех компонентов системы регуляции – определенных отделов нервной, гормональной и нейрогормональной систем.

Таким образом, актуальность проблемы оценки жизнестойкости заводской молоди осетровых для современного осетроводства чрезвычайно велика. Речь идет о качестве выращиваемой заводами молоди и об эффективности осетроводства в целом, так как подращивание жизнестойкой молоди в целях выпуска ее в искусственные и естественные водоемы или в целях дальнейшего товарного выращивания в промышленных условиях – заключительное звено сложного биотехнического процесса. К решению этой проблемы мы подошли с позиции и методами экологической физиологии.

Проведенные исследования установили, что молодь осетровых рыб, выращенная в условиях УЗВ, характеризовалась более высокими значениями жизнестойкости к экстремальным факторам водной среды, такими, как дефицит кислорода, высокая температура воды и длительное отсутствие пищи, по сравнению с молодью, выращенной на естественном температурном и водном режимах. Однако у молоди, выращенной в УЗВ, наблюдались нарушения в поведенческих и адаптивных тестах, что говорит о неполноценности выращенной молоди в отношении нормального функционирования всех компонентов системы регуляции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ	3
1.1. Мировое производство продукции аквакультуры	5
1.2. Современное состояние аквакультуры Беларуси	46
1.3. Перспективы развития аквакультуры ценных видов рыб	57
1.4. Современное состояние, технологии выращивания и перспективы развития аквакультуры осетровых	66
2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ В РЫБОВОДНЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ	70
2.1. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах	70
2.2. Стратегия развития аквакультуры осетровых рыб в Республике Беларусь	76
2.3. Рыбоводный индустриальный комплекс на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства – перспективное направление в развитии аквакультуры ценных видов рыб	85
2.4. Восстановление популяции европейского осетра и перспективы его вселения в реки Беларуси	92
2.5. Перспективные направления зарубежных научных исследований в области аквакультуры ценных видов рыб	99
3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	121
4. НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ РЫБОПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ЦЕННЫХ ВИДОВ РЫБ	151
4.1. Низкоинтенсивное оптическое излучение: основные свойства и взаимодействие с биологическими системами	153
4.2. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в животноводстве	159
4.3. Зависимость биологической активности низкоинтенсивного лазерного излучения от частоты его модуляции	167
4.4. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения инфракрасной области спектра на рыбопосадочный материал осетровых	168
4.5. Влияние излучения сверхярких светодиодов на развитие молоди осетровых рыб	215
4.6. Влияние оптического излучения различных длин волн на развитие молоди рыб	222
4.7. Исследование влияния оптического излучения низкой интенсивности на жаброногого рачка <i>Artemia salina</i> L.	226
4.8. Исследование зависимости биологического действия излучения от типа его поляризации	234
4.9. Исследование зависимости биологической активности излучения от его временной когерентности	238
4.10. Установка для инкубации икры	244
4.11. Лазерно-оптический прибор для инкубации икры «Sturgeon»	249
4.12. Рекомендации по использованию установки для инкубации икры радужной форели «Стронга»	256
4.13. Оценка жизнестойкости молоди осетровых рыб, выращенных в установках замкнутого водоснабжения Беларуси	260

Научное издание

Барулин Николай Валерьевич

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД
К ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА
ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ В РЫБОВОДНЫХ
ИНДУСТРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Монография

В двух частях

Часть 1

Редакторы *Т. И. Скикевич, А. И. Малько*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 10.12.2018. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс. Усл. печ. л. 15,58. Уч.-изд. л. 13,17.
Тираж 100 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.