

ПОСТЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ОНТОГЕНЕЗ ЧИРА ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ И СФОРМИРОВАННОГО СТАДА В УСЛОВИЯХ ФЕНОЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

¹С.А. Селюкова, старший преподаватель

²М.В. Кибалова, магистрант

²Ю.А. Усольцева, магистрант

^{2,3}А.Г. Селюков, доктор биологических наук

¹Государственный аграрный университет
Северного Зауралья, Тюмень, Россия

²Тюменский государственный университет, Тюмень,
Россия

³Тюменский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, Тюмень, Россия

E-mail: selyukovasa@gausz.ru

Ключевые слова: молодь чира, природная популяция, сформированное стадо, фенольная интоксикация, морфометрия, гистология

Реферат. Проводили сравнение развития личинок обского чира *Coregonus nasus*, полученных от производителей из природной популяции (Нижняя Обь) и от рыб, искусственно разводимых за пределами естественного ареала. Это стадо было сформировано из рыб, которые были завезены из бассейна Нижней Оби в рыбоводное хозяйство «Форват» (Ленинградская область), где разводились в течение пяти поколений. В течение месяца эмбрионы чира природной популяции инкубировались в условиях Собского рыбоводного завода (пос. Харп, ЯНАО), затем их развитие проходило в лаборатории Института биологии Тюменского университета. Зародышей чира искусственно созданного стада доставили в лабораторию на стадии пигментации глаз. После вылупления личинки в обеих сериях содержались в условиях хронической интоксикации фенолом 1 (0,001 мг/л), 5 (0,005 мг/л) и 10 (0,01 мг/л) ПДК_{рбхз} с момента их перевода на внешнее питание до двухмесячного возраста. У потомства искусственно сформированного стада морфометрическими и гистологическими методами установлены повышенная выживаемость, бóльшая степень сбалансированности и низкий уровень гистопатологических изменений во всех вариантах. Предполагается, что вследствие пониженных биологических показателей потомства чира природной популяции их использование для зарыбления естественных водоемов в условиях современного антропогенного воздействия малоперспективно. С другой стороны, повышенные биологические и токсикорезистентные характеристики молоди чира искусственно созданного стада являются предпочтительными при ее выпуске в водоемы с повышенной антропогенной нагрузкой в естественном ареале с целью повышения их рыбопродуктивности.

POSTEMBRYONAL ONTOGENESIS OF BROAD WHITEFISH AND FORMED HERD UNDER PHENOL INTOXICATION

¹ Seliukova S.A., Senior Teacher at the Chair of Mathematics and Computer Science

² Kibalova M.V., MSc-student at the Chair of Zoology and Evolution Ecology of Animals

² Usoltseva Iu.A., MSc-student at the Chair of Zoology and Evolution Ecology of Animals

^{2,3} Seliukov A.G., Doctor of Biological Sc., Professor at the Chair of Zoology and Evolution Ecology of Animals

¹State Agricultural University of North Urals, Tyumen, Russia

²Tyumen State University, Tyumen, Russia

³Tyumen Branch of Russian Institute of Fishery and Ocean Science, Tyumen, Russia

Key words: broad whitefish young stock, natural population, fish herd, phenol intoxication, morphometry, histology.

Abstract. The paper reveals the data on comparative analysis of broad whitefish *Coregonus nasus* larvae in the Ob received from natural populations (lower Ob) and from fish, farmed outside their natural habitat. This fish herd was formed from fish brought from the lower Ob basin to the fish farm "Forvat" (Leningrad region), where they were bred during five generations. During a month, the embryos of broad whitefish were incubated in the conditions of Sob fish-breeding plant (Harp village, Yamalo-Nenets Autonomous District), then they were placed for breeding into the laboratory of the Institute of Biology of Tyumen State University. The broad whitefish embryos from artificial herd were taken to the laboratory at the stage of eye pigmentation. After hatching, the larvae in both series were found to be chronically intoxicated with phenol 1 (0.001 mg/l), 5 (0.005 mg/l) and 10 (0.01 mg/l) since their transfer to external feeding up to two months of age. The authors observed broad whitefish from artificial herd and found out increased survival rate, higher balance and lower level of histopathological changes in all variants. Due to low biological parameters of the broad whitefish young stock, their application for stocking natural basins in the conditions of modern anthropogenic impact is not efficient. On the other hand, increased biological and toxicovigilance characteristics are more effective when being applied in the basins with high anthropogenic load with the aim to increase fish productivity.

Сиговые рыбы – представители аркто-бореального пресноводного комплекса, населяющие озерно-речные системы Обь-Иртышского бассейна, – весьма подвержены антропогенному прессингу. В отличие от карповых и окуневых, они являются наименее устойчивыми к изменениям гидрологического и гидрохимического режимов. И если нерест сиговых рыб проходит в относительно чистых верховьях рек, то после вылупления и ската молоди в пойму реки они оказываются в местах, подверженных многофакторному антропогенному воздействию.

В настоящее время повышение рыбопродуктивности естественных водоемов нередко осуществляется путем их зарыбления подрощенной на рыбозаводах молодью. Однако производители для этих целей отбираются из техногенно трансформированных природных водоемов. Длительный жизненный цикл и многолетняя аккумуляция токсикантов в тканях, повышенная чувствительность к изменениям биотических, абиотических и антропогенных факторов на ранних стадиях развития ведут к снижению

резистентности и развитию различных патологий в дыхательной, пищеварительной, репродуктивной, нейроэндокринной системах. Истощение этих функций организма в результате хронической интоксикации приводит к тому, что даже слабые флуктуации природного фона – дефицит кислорода в зимний период, изменение температуры воды, длительное стояние в пойме паводковых вод, – воздействуя в комплексе с загрязнениями, нарушают репродуктивные возможности рыб, угнетают молодь, что в конечном итоге приводит к существенному снижению популяционной численности. Сложившиеся в Обь-Иртышском бассейне негативные тенденции усугубляются реализацией мегапроектов «Северный широтный ход», «Ямал СПГ», охватывающих области приполярного Урала и Ямала и своей деятельностью обостряющие напряженность экологических проблем Севера. Между тем в уральских притоках Оби, озерах Ямала, вовлеченных в сферу интенсивного хозяйственного производства, находится большинство нерестилищ сиговых рыб (чира, пеляди, сига-пыжьяна, тугуна), подвергаю-

щихся необратимым изменениям. При этом бентофаг чир в наибольшей степени угнетается поллютантами, накапливающимися в грунтах и зообентосе.

Есть ли возможность минимизировать накопившиеся проблемы, повысить выживаемость рыб уже в период эмбрионального и раннего постэмбрионального развития и какие подходы для этого можно предложить? Ранее нами были апробированы и предлагались методы повышения токсикорезистентности молоди сиговых рыб путем использования инновационной биотехнологии [1, 2]. Однако имеются и вполне традиционные пути, позволяющие добиться желаемого результата.

Цель работы – оценка выживаемости и динамики морфофизиологических показателей у молоди чира, полученной от производителей природной популяции и от искусственно созданного за пределами естественного ареала маточного стада, при хронической фенольной интоксикации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведено экспериментальное исследование развития в условиях хронической фенольной интоксикации молоди чира из природной популяции (I серия) и полученной от производителей из маточного стада, сформированного за пределами естественного ареала (II серия).

I серия. Икра от производителей, отловленных во время нерестовой миграции в Нижней Оби (о. Князевский), была осеменена 25–29 октября 2017 г. и инкубировалась в условиях Собского рыбоводного завода (пос. Харп, Приуральский район ЯНАО). Спустя месяц эмбрионы чира были доставлены в аквариальную Института биологии Тюменского университета. После вылупления личинок (потомство природной популяции – ППП) в возрасте 5 сут перевели в растворы фенола 1 (0,001 мг/л), 5 (0,005 мг/л) и 10 (0,01 мг/л) ПДК_{рбхз}; соответственно 1, 2 и 3-й варианты. Используемые concentra-

ции фенола являются фоновыми для разных участков Нижней Оби [3] и в определенной степени оказывают угнетающее влияние на молодь. Кроме того, фенол, будучи токсикантом как антропогенного, так и природного происхождения, часто применяется в токсикологических исследованиях. Контрольную партию и каждый вариант разделили на три повторности. С возраста 7 сут их кормили науплиусами артемии; 1 раз в 7–10 сут меняли воду и растворы. Температура воды при содержании молоди изменялась от 4,5 до 6°C. Хронический эксперимент продолжался до 50-суточного возраста, после чего молодь перевели в чистую воду.

В возрасте 5 и 36 сут проводили фиксацию личинок в смеси Бродского, на 57 экз. выполняли морфометрию. В ходе морфометрического анализа учитывали признаки: L – общая длина тела; L1 – длина тела до конца хорды (позвоночника); Н – наибольшая высота тела; h – наименьшая высота тела; l_г – длина головы; d_о – диаметр глаза; h_г – высота головы; l_{sv} – длина желточного мешка; h_{sv} – высота желточного мешка; Р – масса тела.

II серия. Зародышей чира от производителей сформированного за пределами естественного ареала (ООО «Форват», Ленинградская область) маточного стада на стадии пигментации глаз доставили на доинкубацию в Собский рыбоводный завод, а оттуда – в аквариальный комплекс Института биологии. После вылупления с личинками (потомство сформированного стада – ПСС) проводили те же манипуляции, что и с молодь из I серии, однако применяли более жесткие условия: воду и растворы меняли 2 раза в неделю. В возрасте 50 сут их также перевели в чистую воду. Таким образом, за аналогичный временной интервал, т.е. в течение 37 сут, молодь этой серии получила намного большую дозу токсиканта: 14 смен растворов против 4. Личинок фиксировали в 7 и 37 сут. Морфометрия выполнена на 67 экз.

Сравнение параметров проводили по t-критерию Стьюдента. Дистанцию расстояний между признаками у молоди контроль-

ных и опытных вариантов оценивали с помощью кластерного анализа в метрике «1-r» (коэффициент корреляции Пирсона) пакета STATISTICA (StatSoft, Inc.).

Для проведения гистологического анализа зафиксированной молоди использовали стандартные методики [4, 5].

Всего разными методами анализа были исследованы 148 особей чира из обеих партий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основные морфометрические параметры предличинки природной популяции (I серия) и сформированного стада (II серия) перед началом эксперимента через 6 и 7 сут после вылупления представлены в таблице. Молодь сформированного стада имела большие размеры и высоту тела, параметры головного

Морфометрические показатели предличинки чира I и II серий перед началом эксперимента
Morphometric parameters of pre-larvae of broad whitefish of I and II lines before the experiment

Параметры	I серия (n=8 экз.)			II серия (n=7 экз.)		
	$\bar{X} \pm S$	min-max	Cv, %	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	min-max	Cv, %
L	10,90±0,08	10,4–11,2	2,17	11,20±0,14	10,9–11,8	3,21
L1	8,00±0,05	7,7–8,1	1,88	7,50±0,14	7,2–8,2	4,84
H	1,10±0,03	1,0–1,2	8,73	1,30±0,04	1,2–1,5	7,41
h	0,70±0,01	0,7–0,8	3,49	0,70±0,03	0,6–0,8	10,35
l _c	1,70±0,02	1,6–1,8	3,81	2,00±0,05**	1,8–2,2	6,26
h _c	1,50±0,01	1,4–1,5	2,67	1,60±0,04	1,5–1,8	6,94
d _o	0,73±0,01	0,73–0,74	1,09	0,74±0,01	0,73–0,8	3,73
l _{sv}	1,80±0,09	1,5–2,3	14,18	1,60±0,1	1,2–1,9	16,13
h _{sv}	1,40±0,05	1,2–1,6	9,09	0,80±0,10**	0,5–1,2	32,24
P, мг	6,60±0,32	5–8	13,83	9,80±0,34**	8–11	9,11

Примечание. При заполнении таблицы руководствовались следующим: если исходные значения были целыми (3; 4; 5...), то при расчете средней величины точность повышается на 1 разряд (2,5; 3,4; 5,1...), а при расчете стандартной ошибки точность повышается еще на 1 порядок (0,08; 2,32; 3,12 ...). Исключение составил только d_o.

** P < 0,01

When filling in the table, we are guided by the following: if the initial values were integer (3; 4; 5...), then when calculating the average value, the accuracy increases by 1 digit (2.5; 3.4; 5.1...), and when calculating the standard error, the accuracy increases by 1 order (0.08; 2.32; 3.12 ...), the Exception was only do.

отдела, а высокая вариабельность желточного мешка свидетельствовала о более интенсивной конверсии трофических ресурсов на развитие. Это же подтверждается и большей массой предличинки.

Спустя месяц после начала эксперимента (I серия) ППП контрольной партии и опытных вариантов различались незначительно (рис. 1). Однако в контроле и 1-м варианте (0,001 мг/л) у личинок отмечали значительный разброс показателей; во 2-м варианте (0,005 мг/л) вариабельность снизилась (см. рис. 1, в), а в третьем (0,01 мг/л) вся молодь погибла уже к 23-суточному возрасту (рис. 2, Iг). У личинок остальных вариантов несколько изменились размеры желточного мешка – от полного отсутствия вследствие резорбции до разбухания из-за водянки (см.

рис. 1, б, в). У подопытных особей все параметры и масса тела широко варьировали, но во 2-м варианте вариабельность снизилась, отчасти из-за повышенного отхода особей с различными отклонениями (см. рис. 2, Iв). К возрасту 50 сут у подопытной молоди также понизились значения практически всех показателей и массы тела как следствие угнетенности даже в условиях слабой (1 ПДК_{рбхз}), но хронической интоксикации.

На дендрограммах связи признаков (рис. 3) в возрасте 36 сут у контрольной и подопытной молоди можно видеть высокую связь высоты тела с массой (r=0,77), среднюю и слабую – между остальными признаками; тесная связь (r=0,96) отмечена лишь между параметрами желточного мешка. В 1-м варианте просматриваются (см. рис. 3, б) несколь-

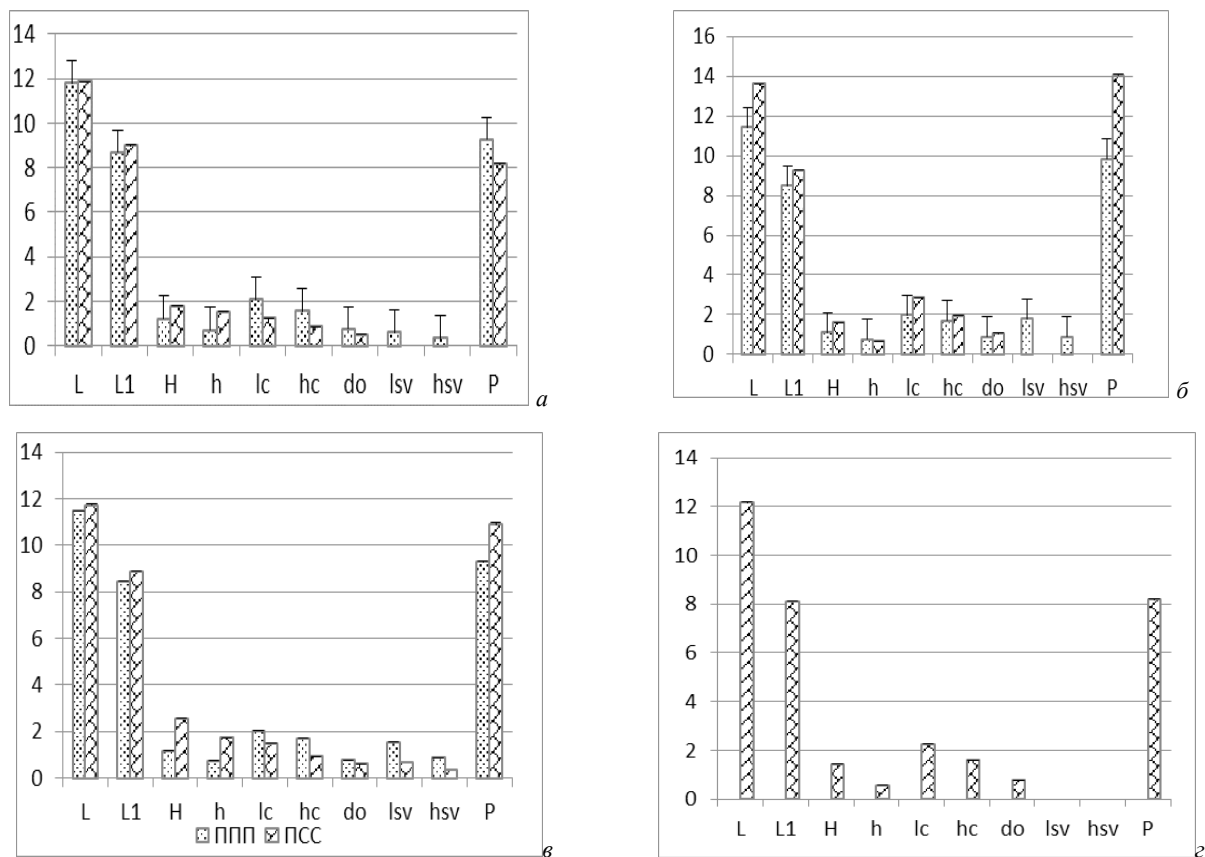


Рис. 1. Морфометрия потомства чира природной популяции (ППП) и сформированного стада (ПСС) контрольных партий (а) и при концентрациях фенола 0,001 (б); 0,005 (в) и 0,01 (г) мг/л в 36–37-суточном возрасте.

По оси Y – мм (мг – для массы тела). Приведен 95%-й доверительный интервал

Morphometric parameters of natural broad whitefish and broad whitefish from artificial herd in the control group (а); when applying phenol 0,001 (б); 0,005 phenol (с) and 0,01 (г) mg/l aged 36-37 days. Axis Y – mm (mg for body weight). Confidential interval is 95%.

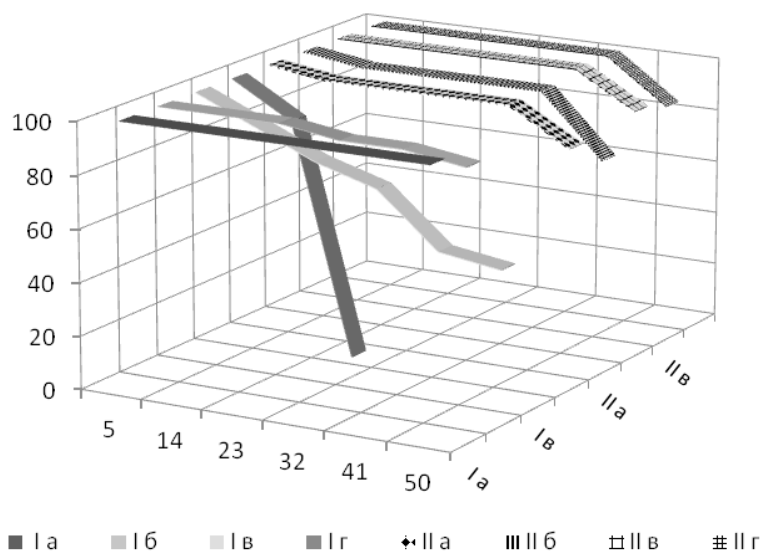


Рис. 2. Динамика (%) выживания молоди чира в условиях хронического эксперимента.

I и II серии: а – контроль; б – 0,001 мг/л; в – 0,005 мг/л; г – 0,01 мг/л

Dynamics (%) of broad whitefish livability under the chronic conditions of the experiment.

I and II lines: а – control group; б – 0,001 mg/l; в – 0,005 mg/l; г – 0,01 mg/l

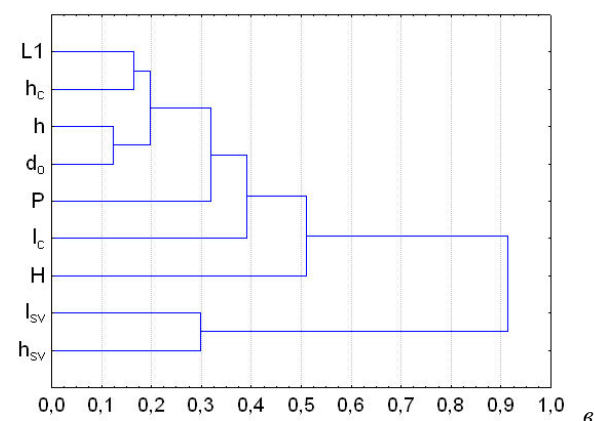
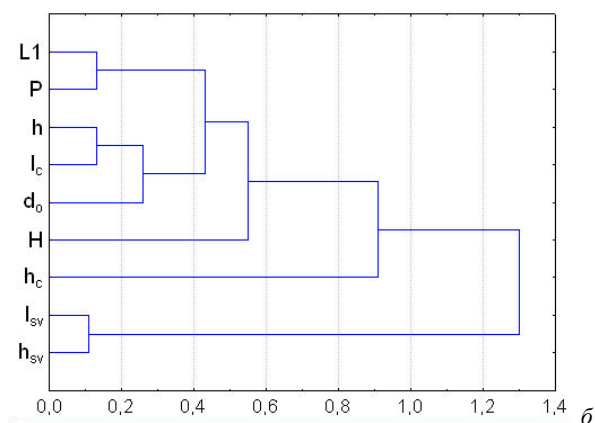
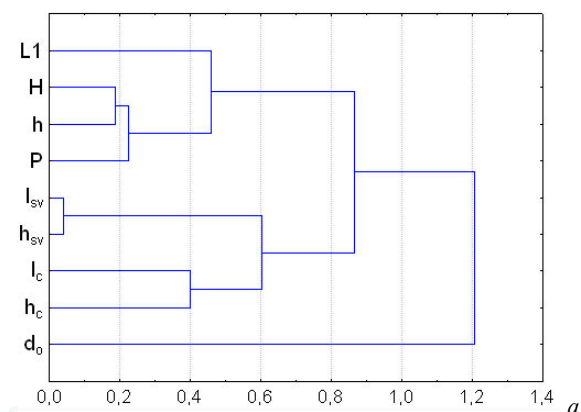


Рис. 3. Дендрограммы связи (1-r) морфологических признаков у потомства чира природной популяции (ППП) контрольной (а) партии и опытных (б, в) вариантов в возрасте 36 сут

Dendrograms (1-r) of morphological parameters of natural broad whitefish young stock: control group -a and experimental one (b, c) aged 36 days

ко пар с высокой корреляцией ($r=0,85$) длины и высоты тела, длины головы с наименьшей высотой тела, с которыми остальные признаки имеют среднюю, прямую и обратную слабую связь. Установленная высокая прямая связь ($r=0,89$) между параметрами желточного мешка и слабая обратная связь ($r = -0,3$) между ними и остальными признаками свидетельствуют о слабой утилизации запасов в процессе развития. Во 2-м варианте (см. рис. 3, в) показана высокая связь ($r=0,80-0,89$) между парами признаков головного отдела с длиной и наименьшей высотой тела, тогда как с остальными – средняя и слабая. Здесь же отмечено снижение связи между параметрами желточного мешка, свидетельствующее о различной степени его утилизации (разбухании вследствие водянки) у разных особей.

Таким образом, поставленный эксперимент с интоксикацией чира природной популяции в постэмбриональный период показал, что используемые концентрации фенола хотя и слабые, но при хроническом воздействии угнетают

морфометрические показатели, вызывают дисбаланс в их развитии, ведут к нарушению метаболизма и вызывают гибель потомства.

Во II серии эксперимента, когда ПСС через 7 сут перевели в растворы фенола (см. таблицу), была выявлена следующая динамика ее морфометрических показателей (см. рис. 1). При сопоставимых с молодь I серии параметрах контрольной партии в 37-суточном возрасте у нее отмечена достоверно ($P < 0,01$) более низкая их вариабельность и полная ассимиляция запасов желточного мешка (см. рис. 1, а). У молоди в 1-м опытном варианте также большие значения показателей при столь же низком их варьировании (см. рис. 1, б). В среде с фенолом 0,005 мг/л (2-й вариант) параметры головы и размеры глаза молоди оказались ниже, чем в аналогичном варианте I серии, отмечено снижение темпов утилизации желтка (см. рис. 1, в). Тем не менее у молоди в 3-м варианте значения морфологических признаков почти не различались с аналогичными параметрами подопытных особей из 2-го

варианта, притом что концентрация токсиканта десятикратно превышала $\text{ПДК}_{\text{рбхз}}$.

При оценке степени толерантности молоди в контроле и опытных вариантах к хроническому действию токсиканта заметим ее повышенную стабильность (см. рис. 2, Па-Пг). Ее отход отмечен лишь после 11-й и 13-й смены токсиканта, но до 50-суточного возраста выживаемость составляла 75–80%.

Рассмотрим степень согласованности морфометрических показателей у потомства сформированного стада в разных вариантах эксперимента (рис. 4).

В контрольной партии между большинством параметров связь высокая ($r > 0,7$). Средняя связь объединяет две группы признаков ($L1, H, P$ и h, l_c, d_o), с которыми слабо коррелирует ($r = 0,43$) высота головы (h_c). В 1-м варианте (см. рис. 4, б) связь между большин-

ством признаков, хотя и в разных сочетаниях, также высокая. Однако связь длины тела ($L1$) с высотой головы ($r = 0,62$) противопоставлена остальным параметрам на очень низком уровне ($r = 0,17$). Во 2-м варианте (рис. 4, в) тесная связь отмечена между всеми признаками ($r = 0,80\text{--}0,97$), объединенными в два основных кластера, корреляция которых не превышает 0,58. Считаем, что молодь, в течение пяти недель находившаяся при хронической фенольной интоксикации и продемонстрировавшая такую высокую скоррелированность параметров, имеет высокие шансы и в природных условиях противостоять значительному токсическому стрессу. При максимальной фенольной интоксикации среды (0,01 мг/л) в 3-м варианте (см. рис. 4, г) у подопытных личинок чира также выявились три кластера высоко- и среднескоррелированных пара-

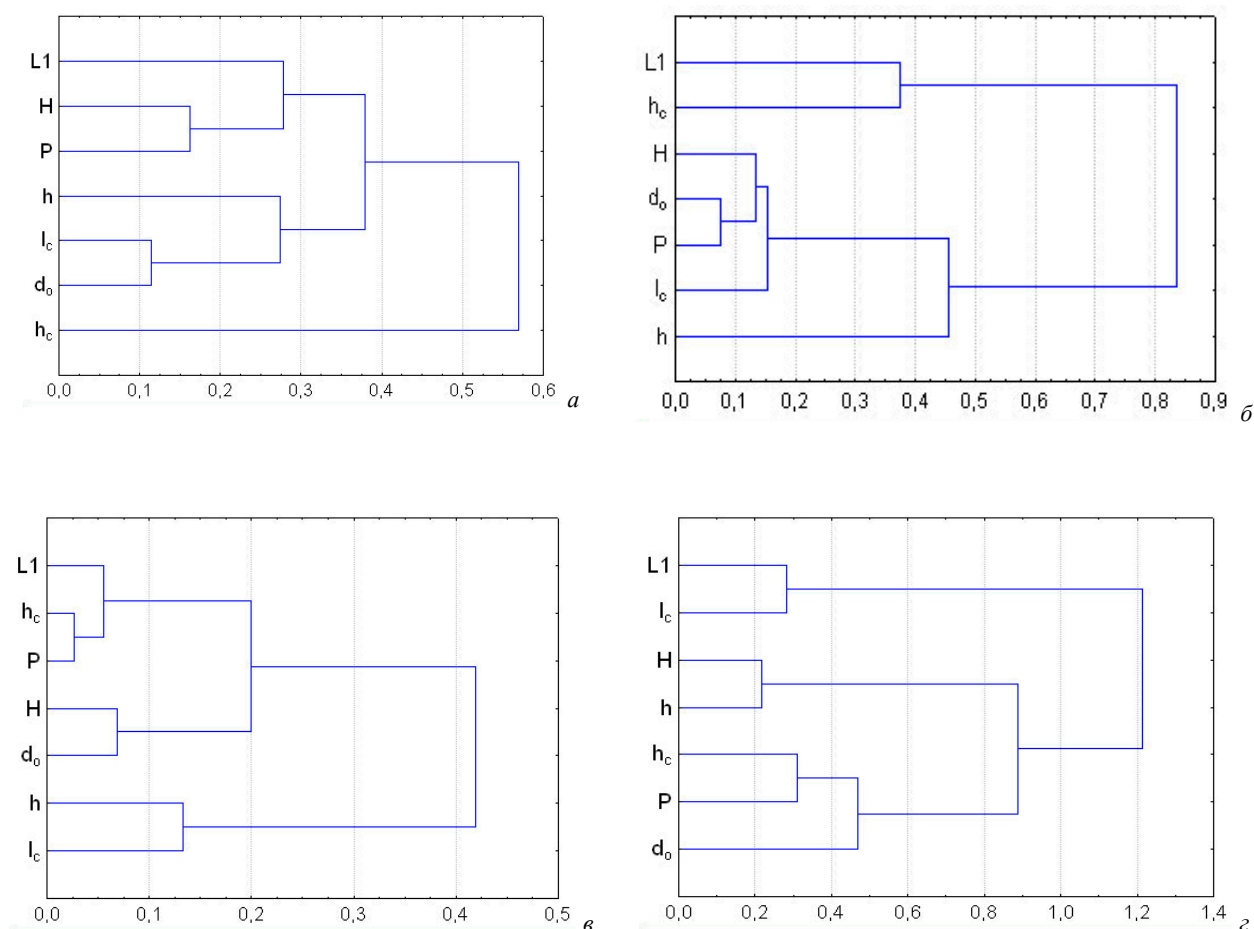


Рис. 4. Дендрограммы связи (1-г) морфологических признаков (и массы тела) у потомства чира сформированного стада (ПСС) контрольной партии (а) и опытных (б – г) вариантов в возрасте 37 сут
Dendrograms (1-r) of morphological parameters (and body weight) of artificial broad whitefish young stock: control group -a and experimental one (b, c) aged 37 days

метров. У молоди данной партии длина тела и длина головы оказались слабо связанными ($r = -0,2$) с остальными признаками.

Оценивая общую тенденцию развития потомства чира разных генераций в условиях хронической фенольной интоксикации, выделим высокую вариабельность значений параметров, отражающих своеобразную поисковую реакцию, которая проявляется в аллометрическом росте и слабой согласованности развития. При этом последние в наибольшей степени характеризуют ППП (I серия), развивающееся в менее токсичных условиях.

При гистологической оценке состояния молоди из опытных вариантов I серии эксперимента были установлены явные патологические изменения (рис. 5) в желудочно-кишечном тракте (спазматические явления, деструкция энтероцитов), нервной системе (дегенера-

ция нейронов в спинном мозге), туловищной мускулатуре (лизис миоцитов) и покровном эпителии.

Анализируя внутренние органы чира ПСС при его содержании в условиях многократной смены токсиканта (0,001 мг/л), отметим практически сходное их состояние (рис. 6) с выявленным в контрольных партиях I и II серии. У этого потомства в возрасте 37 сут аномалии в развитии отмечали только в 3-м варианте.

Таким образом, как по уровню развития, сбалансированности морфологических параметров и выживаемости молоди в условиях хронического фенольного стресса, так и по гистологическим показателям потомство сформированного стада чира в аквакультуре значительно превосходило потомство природной популяции.

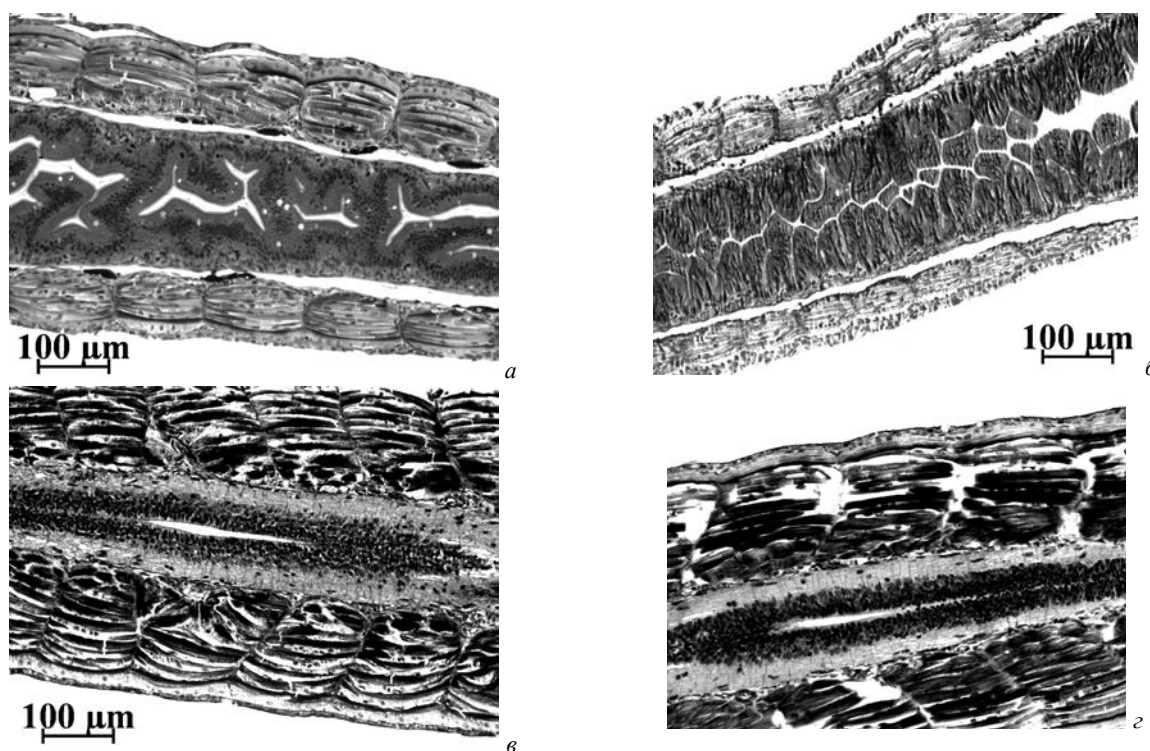
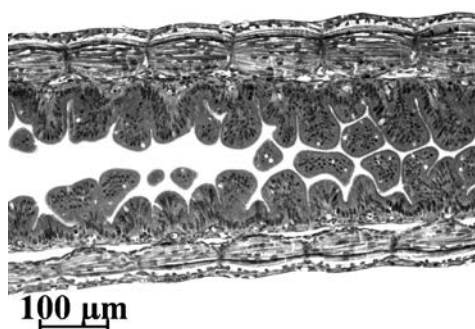


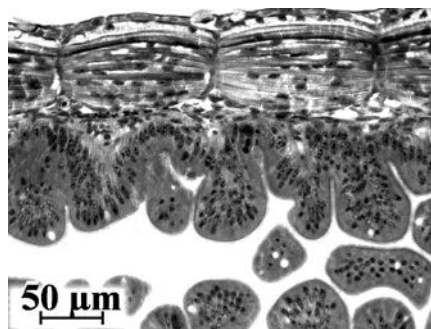
Рис. 5. Состояние пищеварительной и нервной систем контрольной (а, в) и подопытной (б, г) молоди чира из I серии эксперимента (0,001 мг/л): а – нормальное развитие ЖКТ и соматической мускулатуры; б – ЖКТ спазмирован, мускулатура и кожные покровы разрушаются; в – нейроны спинного мозга без явных патологий; г – кариопикноз нейроцитов, деструкция миоцитов и клеток покровного эпителия. Возраст 36 сут

Digestive system and nervous system condition in the control group (a, c) and experimental one (b, d) of broad whitefish of the 1st line of experiment (0,001 mg/l):

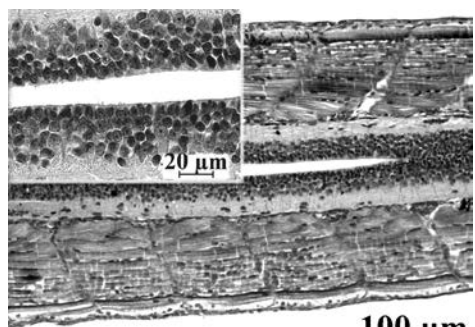
a – healthy growth of gastrointestinal tract and somatic muscular system; b – gastrointestinal tract is spasmed, muscular system and integument are broken; c – neurons of the spinal cord are without obvious pathologies; d – karyopyknosis of neurocytes, destruction of myocytes and cells of epithelium. Age is 36 days



a



б



в

Рис. 6. Подопытная молодь чира сформированного стада (ПСС) в I варианте (0,001 мг/л).

ЖКТ, соматическая мускулатура (а, б) и спинной мозг (в) без патологий. Возраст 37 сут

Experimental model of broad whitefish from artificial herd in the 1 line (0,001 mg/l).
gastrointestinal tract, somatic muscular system (a, b) and spinal cord (c) without pathologies. Age is 37 days.

При этом отметим, что у тех и других особей еще 5 поколений назад были общие предки. Полученные результаты низкой жизнестойкости потомства в I серии понуждают обратиться к ранее проведенным исследованиям [6, 7], в которых авторами показана повышенная генетическая мутабельность природных популяций чира. Ими было отмечено, что аномальные митозы у эмбрионов многократно превышали данный показатель у зародышей других видов сиговых рыб. На этом основании был сделан вывод о незавершенности эволюционного преобразования кариотипа у чира, в становлении которого большое значение имеют парацентрические инверсии и транслокации. Именно это служит причиной формирования несбалансированных по хромосомам гамет и образования большого количества аномальных зигот. Впрочем, учитывая обширный ареал данного вида и его высокие морфобиологические показатели [8], такое утверждение вряд ли может считаться бесспорным. Однако в условиях перманентного токсического стресса отмеченная генетическая мутабельность природных популяций не может не приводить к снижению их резистентности.

В последние десятилетия растет загрязнение Обь-Иртышского бассейна, численность сиговых рыб снижается, и не только по при-

чине перелова. В многолетних исследованиях [9] ската личинок сиговых рыб с нерестилищ в Северной Сосьве показано, что при общем снижении численности генераций пеляди, тугуна, сига-пыжьяна и чира в наибольшей степени снизилась численность последнего. Было отмечено, что личинки этого вида с паводковой волной выносятся в русло и далее в пойму Малой Оби, достигая дельты Оби. Надо полагать, что в этом случае они попадают в условия многофакторного загрязнения, где подвергаются токсическому стрессу. Очевидно, что сформировавшиеся из такого потомства особи и в последующем продолжая накапливать различные токсиканты, будут отягощены всевозможными патологиями, что не может не сказаться на качестве уже их потомства. Именно такие характеристики пониженной жизнестойкости были выявлены в эксперименте с молодью I серии. В этой связи отметим, что в эксперименте с фенолом у эмбрионов сига даже после длительного пребывания в чистой, хорошо аэрированной воде улучшений не наблюдалось и со временем наступала полная гибель [10]. Исследования данного направления проводились на других видах рыб с близкими результатами [11, 12].

Во II серии потомство от производителей, выращенных в благоприятных условиях ры-

боводного хозяйства, в условиях фенольной интоксикации отличалось повышенной жизнестойкостью, имело сбалансированные фенотипические характеристики.

Проведенное молекулярно-генетическое исследование эмбрионов чира из рыбоводного хозяйства ООО «Форват» [13] с использованием ISSR-маркеров показало, что у них доля полиморфных локусов составила 87,5%, показатель генетического разнообразия Нея – 0,32. Производители чира сформированного за пределами естественного ареала стада обладают высокой генетической изменчивостью – в течение целого ряда поколений обеднения генетического материала не наблюдается. Такая высокая генетическая гетерогенность и обеспечивает повышенные морфобиологические характеристики, что является необходимым условием при выпуске такой молоди в природные водоемы в естественном ареале с целью повышения их рыбопродуктивности.

ВЫВОДЫ

1. Молодь обского чира природной популяции после месячного пребывания в условиях хронической фенольной интоксикации, отражающей фоновый режим вод Оби, имела пониженную выживаемость, снижающуюся по мере возрастания дозы токсиканта.

2. Месячная молодь чира из стада, сформированного за пределами ареала, характеризовалась высокими токсикорезистентными характеристиками, значительно превосходившими таковые молоди природной популяции.

3. Повышенная вариабельность основных морфологических параметров и меньшая их сбалансированность после пребывания в условиях интоксикации молоди I серии существенно отличаются от развития аналогичных признаков – слабовариабельных и высокосбалансированных – у молоди искусственно сформированного стада.

4. Особи чира из обеих серий эксперимента по степени выраженности гистопатологий желудочно-кишечного тракта и нервной системы также значительно различаются: почти полное отсутствие нарушений органов у потомства II серии в противоположность аномалиям слизистой кишечника в виде деструкции энтероцитов, дегенерации нейроцитов в спинном мозге, лизиса миоцитов (соматическая мускулатура) у молоди I серии.

5. Пониженные биологические показатели у потомства чира природной популяции позволяют считать, что без соответствующей предварительной подготовки личинок их использование в целях повышения рыбопродуктивности естественных водоемов в условиях современных антропогенных нагрузок будет малоперспективным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Selyukov A. G., Bespomestnykh G. N. Protective effect of weak pulsed magnetic fields on early ontogeny of tugun *Coregonus tugun* (Pallas) under conditions of chronic oil pollution // Russian Journal of Ecology. –2006. – Vol. 37, No 5. – P. 330–336.
2. Селюков А. Г., Солодилов А. И., Елькин В. П. Слабые взаимодействия и регомеостаз живых систем (прикладной аспект): монография. – Тюмень: ТюмГУ, 2008. –192 с.
3. Экологическое состояние, использование природных ресурсов, охрана окружающей среды Тюменской области /Департамент охраны окр. среды адм. Тюм. обл. – Тюмень, 2008. –250 с.
4. Лилли Р. Патогистологическая техника и практическая гистохимия. – М.: Мир, 1969. –645 с.
5. Гистология для ихтиологов: Опыт и советы / Е. В. Микодина, М. А. Седова, Д. А. Чмилевский [и др.] – М.: ВНИРО, 2009. –112 с.
6. Цой Р. М., Сергиенко Л. Л., Пак И. В. Хромосомная мутабельность у сиговых рыб из речных и озерных экосистем Обь-Иртышского бассейна // Генетика. –1996. – Т. 32, № 1. – С. 137–139.
7. Пак И. В. Цитогенетический подход оценки стабильности развития природных популяций сиговых рыб // Онтогенез. –2004. – Т. 35, № 1. – С. 37–40.
8. Решетников Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб. – М.: Наука, 1980. –301 с.

9. Богданов В.Д., Богданова Е.Н. Экологические аспекты ската личинок сиговых рыб при длительном миграционном пути // Экология. –2012. –№ 4. – С. 290–297.
10. Морфо-функциональные нарушения у эмбрионов сиговых рыб в условиях фенольной интоксикации / Е.В. Ефремова, Т.И. Моисеенко, А.Г. Селюков [и др.] // Вестн. Тюмен. гос. ун-та: Экология. –2011. –№ 12. – С. 38–46.
11. Каниева Н.А., Фёдорова Н.Н. Морфофункциональные изменения карповых рыб под воздействием нефти // Вестн. АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство: Физиология и биохимия гидробионтов. –2014. –№ 1. – С. 69–73.
12. Филенко О.Ф., Чуйко Г.М. Водная экотоксикология в России: от прошлого к настоящему // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: Тр. ИБВВ РАН. –2017. – Вып.77 (80). – С. 124–142.
13. Колосова Н.С., Селюков А.Г., Жигилева О.Н. Цитоморфологические и генетические показатели чира *Coregonus nasus* в условиях аквакультуры // Северный морской путь, водные и сухопутные транспортные коридоры как основа развития Сибири и Арктики в XXI веке: материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень: ТИУ, 2018. – С. 294–299.

REFERENCES

1. Selyukov A. G., Bespomestnykh G. N. *Russian Journal of Ecology*, 2006, No. 5 (37), pp. 330–336. (In Russ.)
2. Selyukov A. G., Solodilov A. I., El'kin V. P. *Slabye vzaimodeistviya i regomeostaz zhivyykh system, prikladnoi aspekt* (Weak interactions and regomeostasis of living systems, applied aspect), Tyumen, TyumGU, 2008, 192 p.
3. *Ekologicheskoe sostoyanie, ispol'zovanie prirodnnykh resursov, okhrana okruzhayushchei sredy Tyumenskoi oblasti* (Ecological state, use of natural resources, environmental protection of the Tyumen region), Tyumen, Department of Environmental Protection of the Tyumen region administration, 2008, 250 p.
4. Lillie R. D. *Patogistologicheskaya tekhnika i prakticheskaya gistokhimiya* (Histopathologic technic and practical histochemistry), Moscow, Mir, 1969, 645 p.
5. Mikodina Ye. V., Sedova M. A., Chmilevskiy D. A., Mikulin A. Ye., P'yanova S. V., Poluektova O. G. *Gistologiya dlya ikhtologov: Opyt i sovety* (Histology for ichthyologists, Experience and advice), Moscow, VNIRO, 2009, 112 p.
6. Tsoi R. M., Sergienko L. L., Pak I. V. *Genetika*, 1996, No. 1 (32), pp. 137–139. (In Russ.)
7. Pak I. V. *Ontogenez*, 2004, No. 1 (35), pp. 37–40. (In Russ.)
8. Reshetnikov Yu. S. *Ekologiya i sistematika sigovykh ryb* (Ecology and taxonomy of whitefish), Moscow, Nauka, 1998, 301 p.
9. Bogdanov V. D., Bogdanova E. N. *Ekologiya*, 2012, No. 4, pp. 290–297. (In Russ.)
10. Efremova E. V., Moiseenko T. I., Selyukov A. G., Gogoleva S. Yu. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, No. 12, pp. 38–46. (In Russ.)
11. Kanieva N. A., Fedorova N. N. *Vestnik AGTU, Rybnoe khozyaistvo*, 2014, No. 1, pp. 69–73. (In Russ.)
12. Filenko O. F., Chuiko G. M. *Trudy IBVV RAN*, 2017, Issue 77 (80), pp. 124–142. (In Russ.)
13. Kolosova N. S., Selyukov A. G., Zhigileva O. N. *Severnyi morskoi put', vodnye i sukhoputnye transportnye koridory kak osnova razvitiya Sibiri i Arktiki v XXI veke* (Northeast Passage, water and land corridors as the basis of development of Siberia and Arctic in XXI century), Proceedings of the 20th International Scientific and Practical Conference, Tyumen, TIU, 2018, pp. 294–299. (In Russ.)