

Гидравлические исследования гнезд-инкубаторов икры лососевых рыб, устанавливаемых в речных условиях

Д-р техн. наук, профессор **М.А. Скоробогатов**; д-р биол. наук, профессор **Д.С. Павлов** – Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН;

Д-р биол. наук, профессор **А.Е. Веселов**, канд. биол. наук **Д.А. Ефремов**, **М.А. Ручьев** – Институт биологии Карельского научного центра РАН;

А.А. Фомина – Тверской государственный технический университет

@ skorobogatov1@rambler.ru; acad.pavlov@gmail.com; veselov@krc.karelia.ru; denisefremov@list.ru; karel.medved@yandex.ru; LP62007@yandex.ru

Ключевые слова: гнездо-инкубатор, гидравлические исследования, икра лососевых рыб



В статье изложены методика и результаты гидравлических исследований гнезд-инкубаторов икры лососевых рыб. Установлено, что оптимальная скорость обтекания икринок должна находиться в определенных пределах: нижний предел значения скорости обтекания икринок определяется необходимостью обеспечения подачи достаточного количества кислорода к икринкам и отвода от них продуктов жизнедеятельности; верхний предел – недопущением выноса икринок из гнезда-инкубатора. Даны рекомендации по методике определения этих пределов и по размещению гнезд-инкубаторов в русле рек.

Строительство плотин на реках, забор воды на энергетические и коммунальные нужды, лесосплав, браконьерство привели к резкому снижению численности лососевых рыб в реках Северо-Запада России. Одним из направлений работ по сохранению воспроизводства рыб в естественных условиях является создание устройств для инкубирования икры в реках [1; 2; 3]. В течение ряда лет нами проводятся работы по разработке технологии инкубации икры с использованием специальных устройств – гнезд-инкубаторов, которые позволяют получать жизнестойких личинок лососевых видов рыб непосредственно в реках, на местах их будущего обитания [1; 2; 3; 4, 5 и др.].

Известно, что в естественных условиях производители лосося зарывают оплодотворенную икру в гальку, образуя нерестовый бугор, в котором поступление кислорода к икринкам и вынос продуктов жизнедеятельности происходит с водой подруслового потока.

Форма возвышающегося над грунтом бугра и образуемое перед ним углубление создают особые гидравлические условия, способствующие оптимальной проточности гнезда с икрой в течение всего периода инкубации [6; 7; 8; 9; 10; 11 и др.]. Этот принцип проточности и был заложен в разрабатываемые нами инкубационные устройства. На ряд конструкций гнезд-инкубаторов и технологии воспроизводства лососевых рыб получены патенты на полезные модели и изобретения [12; 13; 14; 15 др.].

Цель настоящей работы – определение и создание оптимальных гидравлических режимов в гнездах-инкубаторах лососевой икры.

Одним из главных гидравлических условий инкубации икры является создание оптимальных скоростей обтекания икринок потоком воды. Эта скорость обтекания должна находиться в определенных пределах: нижний предел значения скорости обтекания икринок определяется необходимостью обеспечения подачи достаточного количества кислорода к икринкам и отвода от них продуктов жизнедеятельности; верхний предел – недопущением выноса икринок из гнезда-инкубатора.

В задачи исследований входило следующее: на основании гидравлических исследований определить величины верхнего и нижнего пределов скорости обтекания икринок и разработать рекомендации по определению оптимальных мест установки гнезд-инкубаторов в русле реки.

Величину нижнего предела скорости обтекания определяли по результатам исследований эффективности инкубации икры в гнездах-инкубаторах при различных режимах их обтекания.

Величину верхнего предела скорости обтекания предлагается определять через гидравлическую крупность икринок. Гидравлическая крупность – это скорость равномерного падения частиц наносов (в нашем случае – икринок) в неподвижной воде. При этом считалось, что вертикальная составляющая скорости течения должна быть не более величины

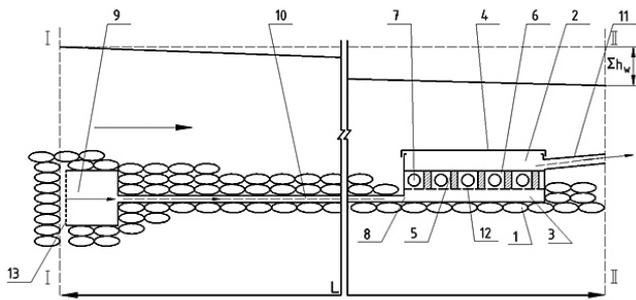


Рисунок 1. Схема гнезда-инкубатора: 1 – корпус; 2 – инкубационная камера; 3 – отстойная камера; 4 – крышка; 5 – искусственный инкубационный субстрат в виде пластины; 6 – лунки; 7 – оплодотворенные икринки; 8 – отверстие; 9 – внешний водозаборник; 10 – гофрированная трубка; 11 – выходной патрубков; 12 – сетка; 13 – перфорированная передняя стенка водозаборника

гидравлической крупности икринок. В этом случае икра не будет отрываться от поверхности субстрата и выноситься за пределы установки.

Значения скоростей обтекания икринок рекомендуется получать при гидравлических тестированиях предлагаемых конструкций гнезда-инкубаторов. Эти скорости зависят в первую очередь от пропускной способности всего устройства, включая и пропускную способность выносного водозаборника, а также от уклона водной поверхности. Ниже приводится методика и полученные результаты исследований серийного образца гнезда-инкубатора с выносным водозаборником [12].

Схема проточной части исследованного гнезда-инкубатора приведена на рис. 1.

Устройство состоит из корпуса (1) цилиндрической формы, в котором находятся инкубационная (2) и отстойная камеры (3). Устройство сверху закрыто крышкой (4). Внутри корпуса (1) расположен искусственный инкубационный субстрат в виде пластины (5) с лунками (6), в которых помещены оплодотворенные икринки (7). Под пластиной (5) в корпусе (1) с фронтальной стороны выполнено отверстие (8) для соединения с внешним водозаборником (9) гибкой трубкой (10). С тыльной стороны к корпусу прикреплен выходной патрубок (11) для выхода личинок из устройства. В каждую из лунок (6) помещают по одной икринке (7). Дно лунок (6) закрыто снизу сеткой (12), предотвращающей выпадение икры в отстойную камеру (3). Перед корпусом (1) в грунте русла реки выше по течению установлен выносной водозаборник (9) с перфорированной передней стенкой (13), отверстия которого меньше твердых частиц грунта русла. В верхней части корпуса имеются отверстия, предназначенные для выпуска остатков воздуха. Перфорированный водозаборник и отстойная камера предназначены также для осветления воды подруслового потока.

Исследованное гнездо-инкубатор было выполнено диаметром 0,18 м и высотой 0,09 м. Диаметр гофрированной пластиковой трубки, использованной для подачи воды из водозаборника – 0,030 м. Внутри устройства, в качестве искусственного инкубационного субстрата, использована, выполненная из органического стекла, пластина толщиной 0,015 м. Диаметр лунок (D) – 0,010 м, расстояние между осями лунок – 0,012 м, диаметр икринки ($d_{икр}$) – 0,006 м. Снизу была закреплена сетка, удерживающая икринки в лунках.

Исследуемое устройство было установлено в гидравлический лоток длиной 15,0 м, шириной 0,5 м, высотой 0,8 м. В опытах водозаборник закреплялся на расстоянии 3,0 м от гнезда-инкубатора. Отметки уровней воды измеряли мерными иглами с точностью 0,1 мм. Для моделирования потоков с различными уклонами водной поверхности на расстоянии 1,0 м от водозаборника был установлен плоский затвор. Уклон водной поверхности (I) определялся как отношение разности отметок воды над водозаборником и гнездом-инкубатором к расстоянию между этими двумя точками.

Измерение расхода воды, проходящего через гнездо-инкубатор, проводили следующим способом. Перед выходным патрубком из гнезда-инкубатора через тонкую трубку запускали раствор красителя, при этом в начальный момент включали секундомер. При появлении красителя, на выходе из патрубка отмечали время прохождения красителя по патрубку. Далее находили среднюю скорость (V), а затем и расход воды – Q:

$$V = L_n / t, \quad (1)$$

$$Q = 0,785 * V * d^2, \quad (2)$$

где L_n – длина патрубка,
d – диаметр патрубка.

Скорость обтекания икринок ($V_{икр}$) вычисляли по формуле

$$V_{икр} = 4 * Q / ((D^2 - d_{икр}^2) / (3,14 * N_{икр})), \quad (3)$$

где D – диаметр лунок;
 $d_{икр}$ – диаметр икринки;
 $N_{икр}$ – количество икринок.

Всего проведено 18 опытов.

Определение гидравлической крупности икры проводили в вертикальном стеклянном сосуде высотой 0,40 м, диаметром 0,05 м, заполненным водой.

На поверхность воды опускалась оплодотворенная и набухшая икринка атлантического лосося. Далее определяли время (t) прохождения икринкой расстояния длиной $L = 0,25$ м. Гидравлическую крупность вычисляли по формуле – L/t . Температура воды в сосуде соответствовала температуре под-

руслового потока в течение основного периода инкубации икры ($T=3^{\circ}\text{C}$).

Как указывалось выше, при выборе места установки гнезда-инкубатора и выносного водозаборника, расчетная скорость в пространстве между икринками и стенками лунки субстрата должна быть не больше гидравлической крупности оплодотворенных и набухших икринок. Иначе икринки будут выноситься течением из лунок.

Данные, приведенные в ряде работ [9; 10; 11; и др.], показывают, что скорости течения подруслового потока в естественных гнездах находятся в пределах от 7 до 15 мм/с.

При определении нижнего предела использовали результаты испытаний конструкций гнезд-инкубаторов типа «штопор» и «шайба» [3; 4; 6]. Установлено, следующее: при скорости обтекания икринок 1,1-1,2 мм/с ($N=7$) эффективность была не более 45-55%; при скорости обтекания икринок 1,5-1,6 мм/с ($N=9$) эффективность инкубации икры достигала 95-97%.

Исходя из этих данных, можно принять в качестве нижнего предела скорость обтекания икринок 1,5-1,6 мм/с.

При определении верхнего предела установлено, что при температуре $1,2^{\circ}\text{C}$ гидравлическая крупность ($V_{гкр}$) оплодотворенных и набухших икринок атлантического лосося, при диаметре икринок 5,3-6,1 мм, равна 7,7-7,8 мм/с ($N= 25$).

Таким образом, скорость обтекания икринок, по нашим данным, в гнездах-инкубаторах должна на-

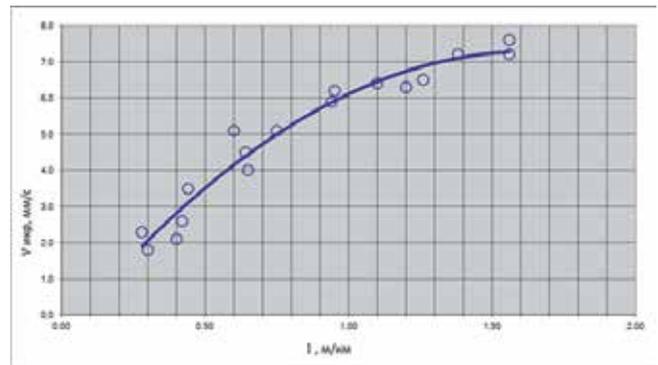


Рисунок 2. Зависимость скорости обтекания икринок в рекомендуемых пределах от уклона водной поверхности (I)

значаться от 1,6 мм/с (нижний предел) до 7,7 мм/с (верхний).

Зависимость скорости обтекания икринок в рекомендуемых пределах от уклона водной поверхности (I) представлена на рис. 2.

С увеличением уклона поверхности воды увеличивалась и скорость обтекания икринок. Данный график рекомендуется использовать при определении оптимального места размещения гнезда-инкубатора в русле реки.

Используя результаты лабораторных исследований (рис. 2), можно принять, что для испытываемой конструкции гнезда-инкубатора уклон водной поверхности должен находиться в пределах от 0,3 до 1,65 м/км. Если расчетный уклон будет больше, то для уменьшения скорости обтекания икринок пе-



ред гнездом-инкубатором на конечном участке трубки следует установить сопротивление, например, задвижку. В этом случае в каждом конкретном месте, регулируя открытие задвижки, можно подобрать скорость обтекания икринок.

Таким образом, приведенные выше данные позволяют рекомендовать перед закладкой икры в гнезда-инкубаторы провести гидравлические исследования и подобрать место установки в реке, исходя из скорости обтекания икринок, которая не должна превышать величины гидравлической крупности икринок (верхний предел); быть не менее 1,5-1,6 мм/с (нижний предел). Требуемые параметры в естественных условиях можно достичь путем отсыпки небольшой плотины в промежутке между гнездом-инкубатором и выносным водозаборником (для увеличения скорости обтекания икринок путем подъема уровня воды над водозаборником) или ввести в проточную часть дополнительное сопротивление (для уменьшения скорости обтекания икринок).

Кроме этого, увеличение верхнего предела возможно за счет использования покровного материала, закрывающего сверху лунки и имеющего над каждой лункой специальные прорезы [15] для выхода из гнезда выклеивающихся личинок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

| ЛИТЕРАТУРА |

1. Павлов Д.С., Скоробогатов М.А. Миграции рыб в зарегулированных реках. – М.: Товарищество научных изданий КМК. 2014. 413с.
2. Лупандин А.И. Искусственное воспроизводство атлантического лосося (*Salmo salar*) в естественных условиях / Лупандин А.И., Павлов Д.С., Веселов А.Е. и др. // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М: КМК. 2005. С.434-445.

3. Инновационные технологии и устройства для инкубирования икры лососевых рыб в реках / Павлов Д.С., Веселов А.Е., Скоробогатов М.А. и др. // Рыбное хозяйство, № 1. 2014. С. - 63-66.
4. Искусственная инкубация икры атлантического лосося (*Salmo salar* L.) в естественных условиях / Веселов А.Е., Аликов Л.В., Скоробогатов М.А. // Петрозаводск. Труды Карельского научного центра РАН. – 2007.- Вып.11, Серия «Экология. Экспериментальная генетика и физиология». - С.14-19.
5. Внезаводской метод восстановления популяций как подход к сохранению биологического разнообразия тихоокеанских лососей / Федорова Л.К., Веселов А.Е., Ефремов Д.А. и др. // Современные проблемы исследования биоразнообразия растительных и животных сообществ и пути их сохранения. Сб. материалов междунар. науч.-практической конф. (14-17 октября 2014). Ю-Сахалинск, изд.-во СахГУ. 2015. С.90-96.
6. Опыт искусственной инкубации икры атлантического лосося (*Salmo salar* L.) в р. Суне (бассейн Онежского озера) / Веселов А.Е., Павлов Д.С., Скоробогатов М.А. и др. // Петрозаводск. Труды Карельского научного центра РАН. 2011 № 3. Серия «Экспериментальная биология». - С. 28-38.
7. Шустов Ю.А., Щуров И.Л., Смирнов Ю.А. Поведение и расселение дикой и заводской молоди семги *Salmo salar* L. в малых реках Кольского полуострова // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 163. 1981 - С.101-113.
8. Веселов А. Е., Калюжин С.М. 2001. Экология, поведение и распределение молоди атлантического лосося. Петрозаводск: Карелия, 160 с.
9. Tonina D., Buffington J.M. 2009. A tree-dimensional model for analyzing the effects of salmon redds on hyporheic exchange and egg pocket habitat // Can. J. Fish Aquat. Sci. № 66. P.2157-2173.
10. Вронский Б.Б., Леман В.Н.. Нерестовые станции, гидрологический режим и выживание потомства в гнездах чавычи *Oncochymus tshawytscha* в бассейне реки Камчатка // Вопр. ихтиол, т.31, вып.2. 1991.- С. 282–291.
11. Леман В.Н., Кляшторин Л.Б. 1987. Оценка состояния нерестилищ тихоокеанских лососей // Методические указания. М., ВНИРО, 28с.
12. Патент RU 110229 U1. Полезная модель «Устройство для инкубации икры в естественных условиях». Авторы: Павлов Д.С., Веселов А.Е., Скоробогатов М.А., Волков Б.А. Опубликовано: 20.11.2011. С.1-2. Патентообладатели: ИПЭЭ и ИБ КарНЦ РАН.
13. Патент RU 127587 U1. Полезная модель «Устройство для инкубации икры и получения личинок лососевых видов рыб в естественных условиях». Авторы: Павлов Д.С., Веселов А.Е., Скоробогатов М.А., Волков Б.А., Ефремов Д.А. Опубликовано: 10.05.2013. Бюл. №13. С.1-4. Патентообладатели: ИПЭЭ и ИБ КарНЦ РАН.
14. Патент RU 133687. Полезная модель «Устройство для инкубации икры и получения личинок лососевых видов рыб в естественных условиях». Авторы: Павлов Д.С., Веселов А.Е., Скоробогатов М.А., Ефремов Д.А. Зарегистрирован: 27 октября 2013 г. Патентообладатели: ИПЭЭ и ИБ КарНЦ РАН.
15. Патент RU 147950. Полезная модель «Устройство для инкубации икры лососевых рыб в реках». Авторы: Павлов Д.С., Веселов А.Е., Скоробогатов М.А., Ефремов Д.А. Опубликовано 20.11.2014. Бюл. №32. 4с. Патентообладатели: ИПЭЭ и ИБ КарНЦ РАН.



HYDRAULIC RESEARCH OF INCUBATORY SALMON ROE REDDS IN RIVER CONDITIONS

M.A. Skorobogatov, Doctor of Sciences, Professor; **D.S. Pavlov**, Doctor of Sciences, Professor – A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS

A.E. Veselov, Doctor of Sciences, Professor; **D.A. Efremov**, **M.A. Rutch'ev** – Institute of Biology, Karelian Research Centre, RAS

A.A. Fomina – Tver State Technical University,
e-mail: skorobogatov1@rambler.ru; acad.pavlov@gmail.com; veselov@krc.karelia.ru;
denisefremov@list.ru; karel.medved@yandex.ru; LP62007@yandex.ru

The paper presents the methodology and results of the hydraulic research of incubatory salmon roe redds. It is found out that the optimal stream velocity of roe corns should be within a certain range: the low limit value is determined by the need of ensuring a good supply of roe corns with oxygen and of removing corns' metabolic byproducts; the upper limit value is specified by avoidance of the roe corn removal from incubatory redds. The authors give recommendations on the method of determining these limits and the placement of incubatory roe redds in riverbeds.

Keywords: incubatory, hydraulic research, salmon roe redds