

УДК 597—116 : 597—15

**О РОЛИ ГРУНТОВОГО ПРОТОКА И КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА  
В ФОРМИРОВАНИИ УСЛОВИЙ РАЗВИТИЯ ИКРЫ ЛОСОСЕЙ**

Л. Б. Кляшторин, А. А. Яржомбек

ВНИРО

Ф. Н. Рухлов

Сахалинское отделение ТИПРО

Развитие икры лососей под слоем грунта в ложе нерестовых рек требует комплекса физико-химических условий, что делает этот этап жизни рыб критическим для всей популяции. Численность нормально развившейся и выклюнувшейся молоди является основой для расчетов запасов будущего пополнения стада. Вполне понятно внимание исследователей к этому важному этапу пресноводного периода жизни лососей (Леванидов, 1968, Wickett, 1958).

Основой нормального развития икры является адекватное ее потребностям снабжение кислородом. Доступность кислорода для икры определяется его поступлением в нерестовое гнездо с фильтрующейся через грунт водой. В неподвижной воде развивающаяся икра быстро потребляет кислород, находящийся в непосредственной близости от оболочки, в результате чего образуется бескислородная микрizona, диффузия кислорода замедляется и икра погибает, несмотря на относительно высокое содержание растворенного кислорода.

Замедление или прекращение фильтрации воды через грунт создает в нерестовом гнезде условия, подобные кислородной недостаточности. Критическое содержание кислорода для развивающейся икры лососей определяется стадией развития эмбриона и температурой. При 10°С в начале развития икры до стадии глазка оно равно примерно 2 мг/л, перед выклевом эмбрионов — 6—7 мг/л (Alderdice, Wickett, 1958). Летальная концентрация кислорода составляет на этих этапах соответственно 0,4—0,5 и 1—1,5 мг/л. Содержание кислорода на уровне критических концентраций не приводит к гибели эмбрионов, однако на ранних стадиях вызывает угнетение метаболизма, замедление темпов развития и появление различных уродств, а на поздних стадиях — преждевременный выклев личинок (Alderdice et al., 1958; Silver et al., 1963).

Аналогичное дефициту кислорода действие оказывает падение проточности в нерестовых гнездах. Уменьшение проточности приводит также к накоплению в среде продуктов метаболизма икры: углекислоты и аммиака.

Достоверное снижение выживаемости икры происходит при концентрации в воде  $\text{CO}_2$  50—70 мг/л (Wickett, 1954, Alderdice, et al.,

1958). Накопление такого количества углекислоты даже в условиях низкой проточности за счет жизнедеятельности икры маловероятно: максимальное содержание  $\text{CO}_2$  в воде нерестовых бугров не превышает 15—20 мг/л (Леванидов, 1968).

Выделение аммиака живой икрой сравнимо с количеством потребляемого кислорода (Кляшторин, Яржомбек, 1972). Создание за счет экскреции метаболитов концентрации аммиака имеет тот же порядок величин, что и падение содержания растворенного кислорода за счет его потребления икрой. Вопрос о токсичности для икры лососей концентраций аммиака 5—20 мг/л не вполне ясен. Имеются данные о токсическом действии таких концентраций (McNeil, 1966), однако содержание свободного аммиака в крови рыб достигает 50 мг/л (Флоркэн, 1947). Аммиак может выделять также разлагающаяся погибшая икра. Для решения вопроса о токсичности аммиака и его допустимом содержании в нерестовых гнездах необходимо обследовать гнезда в различных гидрологических условиях.

Анализ литературных данных не выявляет четкого соответствия между наблюдениями в природных условиях, величинами проточности грунта и расчетными величинами проточности и содержания кислорода, при которых обеспечивается нормальное развитие икры лососей. В естественных условиях критическими являются скорости фильтрации воды в грунте нерестилищ 30—60 см/ч. При такой проточности угнетается развитие эмбрионов или икра в массе гибнет (Леванидов, 1968; Wickett, 1958). Правда, это наблюдается лишь при значительном заиливании грунтов нерестилищ (более 15% фракции частиц размером менее 0,9 мм), чего, как правило, не происходит, так как для них характерна самомелиорация. Однако в нерестовых реках, находящихся в сфере влияния хозяйственной деятельности человека, засорение русла рек мелкодисперсным материалом оказывает значительное влияние на водопроницаемость и кислородный режим грунтов, а следовательно, и на выживаемость молоди. Поэтому необходимо разработать методы оценки кислородных условий в грунтах нерестилищ лососей.

В сентябре—октябре 1971 г. были проведены рекогносцировочные наблюдения над кислородным режимом поверхностного и подруслового потока и прочностью грунта на нерестилищах горбуши некоторых рек Южного Сахалина.

*Материал и методика.* Для определения растворенного кислорода использовали прибор, позволявший одновременно определить температуру воды и содержание растворенного кислорода. В качестве датчика содержания растворенного кислорода применялся мембранный кислородный электрод. Датчик создает ток пропорциональный парциальному давлению  $\text{O}_2$  в воде и шкала прибора градуировалась в мг/л (рис. 1—3).

Одно из свойств мембранного электрода — зависимость величины даваемого им тока от скорости потока под катодной мембраной (Хайдаров, 1965; Кляшторин, Яржомбек, 1972). Для определения проточности на катодную часть прибора надевали сетчатую камеру, в которую вводили тонкую трубку, позволяющую создавать ток воды под воспринимающей поверхностью датчика и после измерения проточности определять содержание растворенного кислорода в грунте. В таком виде датчик калибровали на пермеатре, заполненном гравием, и получали калибровочную кривую, при помощи которой можно было

по отсчету прибора судить о скорости воды в камере помещенного в грунт датчика и получать данные о проточности грунта.

*Результаты и их обсуждение.* Вода живого сечения нерестовых рек характеризовалась высоким содержанием растворенного кислорода — 98—100% насыщения. В то же время в заливах со слабым течением и в старицах насыщение воды кислородом значительно ниже: соответ-

Рис. 1. Схема устройства для определения проточности, содержания кислорода и температуры в грунте:

1 — кислородный электрод; 2 — сетчатая камера; 3 — трубка; 4 — резиновый баллончик; 5 — провода к измерительному устройству; 6 — термистор.

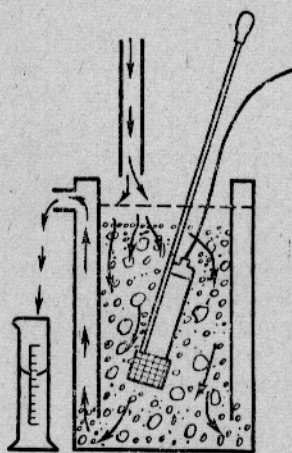
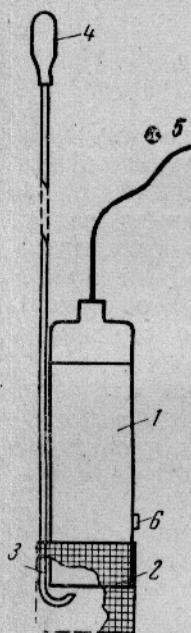


Рис. 2. Схема калибровки электрода в пермеатре.

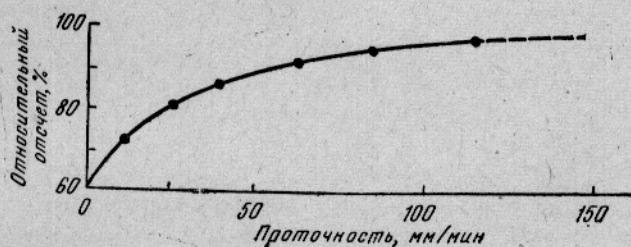


Рис. 3. Калибровочная кривая для определения проточности.

ственно 9—15 и 10—12%. Содержание кислорода в воде руслового потока, заливов и стариц приведено в табл. 1.

Такое низкое содержание кислорода в узких заливах и отшнурованных пойменных водоемах объясняется их грунтовым водоснабжением. В ряде случаев грунтовый подток со стороны берега можно было обнаружить визуально. Весной во время ската молоди лососей в море при резком понижении уровня воды в реке часть мальков остается в старицах и гибнет от недостатка кислорода. Даже при относительно большой площади зеркала стариц (десятки квадратных метров) и не-

Таблица 1

Т, °С	Содержание O <sub>2</sub> , мг/л		Т, °С	Содержание O <sub>2</sub> , мг/л	
	Заливы	Русло		Старицы	Русло
9,2	1,2	7,8	9,0	0,8	8,0
9,1	0,8	7,8	9,1	0,9	7,8
9,0	1,0	8,0	9,6	0,8	8,0
9,2	0,6	—	10,0	0,9	7,8
			10,8	0,8	8,0

большой глубине (0,5—0,6 м) грунтовая вода очень медленно насыщается кислородом. Содержание кислорода у выхода грунтового ключа (район р. Гастелловки) составляло 0,9 мг/л (11% насыщения при  $t=10^{\circ}\text{C}$ ), через 10 м 3,2 мг/л и в зоне смешения с речными водами 4,3 мг/л. Низкое содержание кислорода в заливах и старицах, питаемых грунтовыми водами, характерно для бассейна рек Лютоги и Гастелловки. Создается впечатление, что береговые участки этих нерестовых рек, текущих в узких долинах, подпираются грунтовыми водами с низким содержанием кислорода.

Чтобы определить концентрацию растворенного в воде кислорода на участках русла, обнажающихся при понижении уровня реки, определяли его содержание на гравийно-галечных отмелях на уровне руслового потока, для чего отрывали лунки глубиной 20—25 см в 10—15 см от уреза воды.

Содержание кислорода в грунтовой воде приведено в табл. 2. Вода в лунки подтекала со стороны русла, что практически исключало влияние грунтовых вод.

Таблица 2

Т, °С	Содержание O <sub>2</sub> , мг/л		Т, °С	Содержание O <sub>2</sub> , мг/л	
	Береговая отмель	Русло		Осередок	Русло
9,4	3,4	7,8	9,6	3,2	7,9
10,0	2,6	7,6	9,4	1,3	7,8
9,6	2,2	7,9	9,2	1,4	8,0
9,2	2,8	7,8	9,5	1,8	8,0

Насыщение грунтовой воды кислородом на береговой отмели составляло 28—43%, на осередке — 16—4%, в русле — 96—100%.

Особый интерес представлял кислородный режим подруслового потока. В связи с этим определено содержание кислорода в воде, фильтрующейся через грунт плоских островков (осередков). Типичный осередок имеет наибольшую высоту над уровнем реки 10—20 см и образован гравийно-галечным грунтом с примесью песка. На осередках можно наблюдать подрусловый поток в его чистом виде без смешения с русловой водой. Многочисленные определения содержания кислорода в грунтах осередков показали, что уже в 30—40 см от уреза воды оно значительно меньше, чем в русловом потоке, и составляет от 50 до 15% насыщения. Повторные определения в лунках спустя час показали, что содержание кислорода увеличилось всего на 15—20%.

Это еще раз убеждает в том, что насыщение воды через свободное зеркало без перемешивания идет очень медленно.

Плоские осередки периодически покрываются водой при повышении ее уровня и обнажаются в межень, по существу, представляя собой модель грунта нерестового участка реки, подвергающегося обсыханию. Для выяснения картины распределения содержания кислорода и проточности в грунтах осередков была проведена съемка на типичном осередке в нижнем течении р. Таранай (рис. 4), реки с чистой водой и слабо заиленными грунтами.

Уровень воды в левой протоке на 20 см выше, чем в правой, что определяет направление фильтрации. Проникновение грунтового подтока маловероятно, так как глубина лунок составляет 15—25 см, а глубина русловых рукавов — 0,6—1,0 м. Построенные по сетке измерений изолинии содержания кислорода (изооксигены) позволяют представить

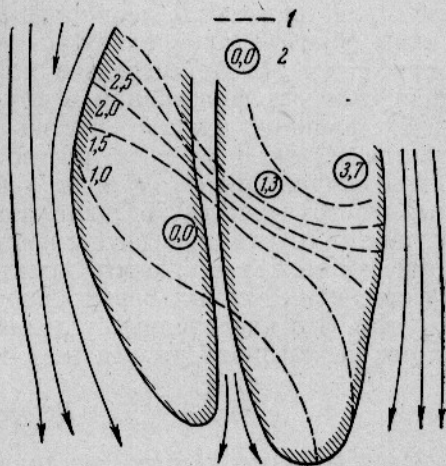


Рис. 4. Схема распределения различных концентраций кислорода в мг/л (1) и разных значений проточности (в м/ч) (2) в грунте типичного осередка.

картину фильтрации русловых вод через осередок. Видно, как по мере продвижения в грунте фильтрующаяся вода теряет кислород. Эти потери, по-видимому, объясняются расходом кислорода на окисление органического вещества илистых частиц грунта. Проточность уменьшается с 3,7 м/ч у края до нуля в центре (см. рис. 4). Характерные особенности кислородного режима осередков, видимо, воспроизводятся в грунтах обсыхающих нерестилищ. Распределение содержания кислорода в грунтах, показанное на рис. 4, позволяет выделить площади с содержанием кислорода, достаточным для выживания икры и пониженным, при котором развитие икры невозможно. Если осередок представляет собой участок обсохшего нерестилища, то в гнездах, расположенных ниже изолинии 1,8 мг  $O_2$ /л, снабжение икры кислородом будет недостаточным.

В русле реки нерестовые гнезда довольно хорошо снабжаются кислородом и имеют удовлетворительную проточность. Проточность в недавно построенных буграх горбуши составляет от 5 до 6,5 м/ч, что согласуется с данными В. Я. Леванидова (1968), но ниже данных А. Н. Канидьева (1967). Если выше по течению над нерестовым бугром создавали искусственный источник заиливания, то через 20—30 мин проточность уменьшалась до 2,5 м/ч.

В самом верхнем течении притоков р. Гастелловки на участках с круглым падением уклона дна встречались небольшие осередки, образованные однородным гравием (2—6 мм), значительно насыщенные водой с высокой проточностью и по содержанию кислорода (около 70% насыщения) мало отличающейся от руслового потока.

Характерную картину дают грунты р. Поляковки. В верхнем течении реки интенсивно ведутся лесозаготовительные работы, берега эродированы, в реку поступает большое количество мелкодисперсного материала. Очень высока мутность (прозрачность менее 10 см). Заиливание привело к резкому уплотнению грунта и снижению его проницаемости. Лунки, открытые на осередках, оставались сухими в течение нескольких часов и лишь у краев осередка, вблизи уреза воды, со дна лунок поступала вода. Проточность грунта на границе русло — осередок составляла 0,2 м/ч, содержание кислорода в грунте — около 20% насыщения. По наблюдениям В. Я. Леванидова (1968), при таких условиях происходила массовая гибель икры в нерестовых буграх кеты.

Таким образом, при полном насыщении кислородом русловой воды в подрусловом потоке осередков по мере удаления от русла за счет падения скорости фильтрации и потерь кислорода на окисление органической фракции илистых частиц содержание кислорода устойчиво снижается. Низким уровнем растворенного кислорода (10—20% насыщения) характеризуются воды узких заливов и стариц в пределах поймы, что объясняется подтоком лишенных кислорода грунтовых вод. Проточность грунта при интенсивном заиливании очень низка, что практически может исключить использование лососями этих водоемов в качестве естественных нерестилищ. Все изложенное приводит к выводу о том, что кислородные условия на обсыхающих нерестовых участках рек неблагоприятны для развития икры.

### Выводы

1. Исследования ученых, занимавшихся методическими и теоретическими основами грунтовой проточности и ложа нерестовых рек, показали, что получение адекватных и воспроизводимых данных о проницаемости грунтов и кислородном режиме требует серьезного и методически обоснованного подхода.

2. Проведенная нами работа показывает, что в этой области исследований есть возможности для применения современных методов, которые позволяют объективно и быстро оценивать проточность и кислородный режим нерестовых грунтов, а также изменение режима нерестилищ под действием природных и антропогенных факторов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Канидьев А. Н. Абиотические условия в нерестовых буграх горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*). — «Известия ТИНРО», 1967, т. 61, с. 94—103.

Кляшторин Л. Б., Яржомбек А. А. Определение стандартного обмена у рыб с использованием мембранного электрода. — «Труды ВНИРО», 1972, т. 85, с. 36—44.

Леванидов В. Я. О гидрологическом режиме нерестилищ кеты и горбуши. — «Известия ТИНРО», 1968, т. 68, с. 101—126.

Хайдаров И. Ш. Датчик для определения растворенного кислорода. — «Вестник МГУ. Серия биологическая», 1965, № 4, с. 45—54.

Флоркен М. Биохимическая эволюция. М., И. Л., 1947.

Яржомбек А. А., Кляшторин Л. Б. Выделение аммиака и углекислоты икрой радужной форели. — «Рыбное хозяйство», 1973, № 5, с. 21—22.

Alderdice D. F. Wickett W. P. A note on the response on developing chum salmon eggs to free carbon dioxide in solution. *J. Fish. Res. Board. Can.* 15 (5) 1958, p. 797-799.

Alderdice D. F., W. P. Wickett and J. R. Brett Some effects of temporary exposure to low dissolved oxygen levels on Pacific salmon eggs. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 15 (2), 229, 1958.

McNeil W. F. Effect of the spawning bed environment on reproduction of pink and chum salmon. *Fishery Bull.* 65 (2), 1966, p. 495-520.

Silver S. J., Waaren Ch. E., Doudoroff P. Dissolved oxygen requirements of developing steelhead trout, and chinook salmon embryos at different water velocities. *Trans. Amer. Fisheries Soc.* v. 92 (4), 1963, p. 327-343.

Wickett W. P. The oxygen supply to salmon eggs in spawning beds. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 11 (6), 1954, p. 933-953.

Wickett W. P. Review of certain environmental factors affecting the production of pink and chum salmon. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 15 (5) 1958, p. 1103-1126.

### ON THE ROLE OF FLOW PERCOLATING THROUGH THE GROUND AND OXYGEN REGIME IN THE DEVELOPMENT OF SALMON EGGS

L. B. Khashtorin, A. A. Yarrhombek, F. N. Rukhlov

#### SUMMARY

Penetrability of the spawning substrate governs often the accessibility of oxygen for developing eggs and removal of metabolic products from the spawning nests of salmon. So the amount of water percolating through the ground is the decisive factor of the survival of eggs under natural conditions. Using the method suggested it is possible to determine the oxygen content and ground penetrability value. The estimate of the oxygen content on the spawning grounds of pink salmon in some rivers on Sakhalin is presented.