

**РЕЧНЫЕ НАНОСЫ В ФОРМИРОВАНИИ БИОЦЕНОЗОВ
ЛОСОСЕВЫХ РЕК**

С.Р. Чалов

*Географический факультет Московского Государственного университета
им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы; ГСП-1 Всероссийский
научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
Москва, ул. Верхняя Красносельская 17 E-mail: srchalov@rambler.ru*

В работе на примере исследований на ряде рек Камчатки и обобщения литературных данных показано соответствие между количеством и составом взвешенного и влекомого материала, перемещаемого водотоками, и условиями жизнедеятельности лососевых рыб. Эмпирически доказывается существование прямых и обратных связей между характеристиками речных наносов и водными биоценозами. Выявляется экологическая роль мелких фракций бассейнового происхождения и более крупных руслоформирующих фракций. Рассмотрены масштабы и закономерности изменения транспорта речных наносов в период нереста лососей. Показано, что транспорт наносов играет важнейшую роль в развитии речных экосистем.

**SEDIMENTATION EFFECTS ON STREAM COMMUNITIES
OF SALMON RIVERS**

S.R. Chalov

*Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University, Federal Institute of
Fishery and Oceanography E-mail: srchalov@rambler.ru*

Based on the Kamchatka rivers explorations the mutual controls of suspended and bed load rates and composition of sediments and stream communities structure are shown. Direct and indirect links between river sedimentation and spawning salmons and benthic invertebrates are discussed through empirical evidences. The ecological role of fine particles (washed load) and coarser particles (bed load) is studied. The special concern is how stream species activities (especially mass-spawning fish) alter sedimentation rates and sediment supply to rivers. We argue that ecological role of sediments remains is rather significant.

Под *речными наносами* понимают минеральные частицы различного размера, переносимые потоком в результате поступления из различных природных и антропогенных источников. Выделяют два вида наносов – *влекомые и взвешенные*. Взвешенными называются наносы, устойчиво переносимые в толще потока. Во взвешенном состоянии они поддерживаются восходящими вихревыми образованиями. Влекомые наносы перемещаются по поверхности дна. Четкой грани-

цы между видами наносов нет, поскольку в придонном слое существует зона, в пределах которой движущиеся в потоке частицы можно относить к взвешенным или к влекомым наносам (Алексеевский, 1998). Оценка количества перемещаемых взвешенных наносов (расход наносов) обычно производится по произведению мутности S (мг/л) и расхода воды Q (м³/с). Расход влекомых наносов разного размера (диаметра d , мм) для галечно-валунных рыб обычно оценивается по эмпирическим формулам, использующих данные о фактических V и неразмывающих V_0 скоростях потока или расходах воды, среди которых наиболее известна формула Г.И. Шамова (Шамов, 1959)

Движение некоторых фракций наносов в естественных потоках носит прерывистый характер. Они могут осаждаться в русле или на пойме. Через некоторое

$$G = B0,95d(V/V_0)^3 (V - V_0) \left(\frac{d}{h}\right)^{1/4}. \quad (1)$$

время возможно их повторное взвешивание и продольное перемещение. Условия массообмена тесно связаны с гранулометрическим составом взвешенных наносов и русловых отложений. При свободном массообмене происходит интенсивный обмен минеральными частицами между потоком и русловыми отложениями. Даже наиболее крупные частицы способны переходить из русловых отложений в поток. Затрудненный массообмен соответствует участкам дна или берегов, которые сложены связными грунтами. Он фиксируется увеличением различий гранулометрического состава взвеси и русловых отложений. Массообмен в этом случае возможен лишь в некотором интервале изменения диаметра частиц. На многих участках горных и полугорных рек гранулометрический состав взвеси и русловых отложений не имеет совпадающих фракций. В этом случае массообмен отсутствует.

Таким образом, гранулометрический состав взвешенных наносов зависит от их происхождения. В составе взвешенных наносов выделяют транзитную (бассейновую) и русловую составляющие. К первой относятся мелкие фракции пыли, ила и глины, поступающие в поток исключительно с водосборов в результате деятельности эрозионных процессов. Ко вторым – наносы, результирующие взаимодействия в системе поток-русло. Для определения условий насыщения потока русловыми фракциями можно использовать уравнение (Россинский, Кузьмин, 1964)

$$\rho_{mp} = 0,024 \frac{V^3}{hu}. \quad (2)$$

Сток влекомых наносов характеризует в основном движение русловых наносов. Содержание русловых и транзитных фракций в составе взвешенных наносов колеблется в широких пределах. Выделение граничного диаметра d_c производится либо по жестко закрепленному значению 0,05-0,10 мм (Шамов, 1959), либо по расчетным зависимостям, учитывающим неоднородность кривой гранулометрического состава русловых отложений. Баланс стока наносов участка реки можно представить в виде уравнения

$$\Delta W = (W_{PЭ} + \sum W_{ЭPi} + W_{ОВ} + W_C + W_{ОС} + W_{ОП} + W_S + W_{ВЛО}) - W_A \pm W_Э \pm W_X, \quad (3)$$

где ΔW - результирующая баланса наносов, W_I - составляющие баланса наносов, изменяющиеся за счет: $PЭ$ – эрозии в русле главной реки, $ЭPi$ – выноса продуктов

эрозии из боковых притоков, *OB* – овражной эрозии, *C* – селей, *OC* – осыпей, *OP* – оползней, *S* – солифлюкционных процессов, *BIO* – деятельности биоты, *A* – аккумуляции части транспортируемого материала, *Э* – эолового переноса, *X* – хозяйственной деятельности. Величина $W_{\text{БИО}}$ до недавнего времени не включалась в уравнение (3) (Алексеевский, 1998), однако исследования последних лет (Кольцов, 1995; Чалов, 2008; Hassan et al, 2008) однозначно свидетельствуют о ее существенной роли, особенно для лососевых рек. Она определяется особенностями жизненного цикла лососевых рыб: миграцией в океан вышедших из икры мальков на нагул и возвратом в реки взрослых производителей для размножения; массовым характером захода лососей на нерест в те же реки, где они вывелись из икры, происходящим в сжатые сроки; закапыванием икры в галечный грунт на предпочтительных по гидрологическим параметрам участках рек. Все эти факторы сопряжены с мощным механическим воздействием на дно рек, приводящим к увеличению транспорта наносов разного размера. Одновременно существует и обратное воздействие. Состав, количество перемещаемых потоком транзитных (бассейновых) и русловых фракций влияет на условия жизнедеятельности сообществ водных организмов. При этом разные формы воздействия характерны для частиц разного размера – бассейновых и русловых фракций. Роль транспорта наносов в развитии сообществ водных организмов специально не исследовалась в научной литературе, хотя этот вопрос периодически поднимался в связи с оценкой антропогенного воздействия (Wagener, LaPerriere, 1985; Зюсько, Русанов, 1989). В этой связи целью настоящей работы является определение связей между структурой речных биоценозов и характеристиками транспорта наносов на примере лососевых рек Дальнего Востока.

МЕТОДЫ

В основе настоящей работы является обобщение полевых экспериментальных исследований автора на реках Камчатского полуострова, а также литературный обзор. Основной объем данных получен для рек бассейна Вывенки, а также для рек Кроноцкого биосферного Заповедника – притокам Семьячинского Лимана. Измерение мутности воды проводилось оптическими турбидиметрами, для пересчета единиц отражения света (T , НТУ) в весовые единицы (S , мг/л) использовалась региональная зависимость, полученная для рек Камчатки. Несмотря на включение в зависимость данных по многим рекам (более 20), зависимость достоверна ($r=0,96$):

$$S = 1.25T^{0.867}. \quad (4)$$

Экспериментальные исследования за движением фракций руслового генезиса ($d > 0,1$ мм) проводились методом улавливания грунта. Использовался ряд плоскодонных округлых ловушек, закапываемых в дно русла параллельно течению потока по уровень входного отверстия. Диаметр входного отверстия в ловушках изменялся от 0,2 до 0,27 м, глубина – от 0,06 до 0,09 м. Улавливание грунта за время установки ловушки Δt дает значение относительного расхода влекомых наносов g_i (кг/с·м). Расчет суммарного расхода влекомых наносов G производится суммированием частных расходов для однородных сегментов поперечного профиля (где $h_i = \text{const}$, $v_i = \text{const}$): $G = \sum g_i b_i$. Для сегментов, где ловушки не устанавливались, оценка относительного расхода влекомых наносов определялась интерпо-

ляцией данных с учетом кубической зависимости веса перемещаемых частиц от скорости течения: $g = f(V^3)$. Специальные эксперименты, выполненные при подаче на верхнюю границу ловушек известного количества наносов разного диаметра и минералогического состава, позволили эмпирически оценить коэффициент уловистости ловушек в зависимости от разности сил, сдвигающих частицу ($F_{\text{нап}}$), и сил, сопротивляющихся ее перемещению ($F_{\text{тяж}}$) ($r=0,75$):

$$K_{\text{ул}} = 25,9 \cdot (F_{\text{нап}} - F_{\text{тяж}}) + 0,21. \quad (5)$$

Здесь силы $F_{\text{нап}}$ складываются из силы скоростного напора и составляющей веса частицы, направленной вдоль ската дна. $F_{\text{тяж}}$ определяется силой веса частицы с учетом тангенциальной составляющей силы тяжести (Маккавеев, Чалов, 1986).

Другим используемым методом для оценки перемещения влекомых наносов являлось повторное измерение глубины по закрепленным створам. Особенно эта технология актуальна при интенсивном движении донных частиц, вызываемом, в частности, нерестом лососей.

Характеристики взвешенных и влекомых наносов сопоставлялись со структурными показателями сообществ водных организмов модельных участков рек. Гидробиологические исследования включали в себя сбор и анализ количественных характеристик проб фито и зообентоса. Ихтиологические исследования проводились методами обловов (неводами длиной 7-12 м), оценка численности нерестящихся лососевых рыб – визуальным учетом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕРЕСТА НА РЕЧНЫЕ НАНОСЫ

Изменение характеристик речных наносов под влиянием водных организмов связано с механическим воздействием лососевых рыб на дно. В наибольшей степени влияние рыб на русла рек проявляется на нерестилищах. Каждая «брачная пара» лососей на нерестилище строит нерестовый бугор, при этом разные виды тихоокеанских лососей при строительстве 1 нерестового бугра перекапывают от 0,1 м³ русловых отложений (горбуша) до 0,4 м³ (чавыча) (Кольцов, 1995) или 200 – 870 кг грунта. При этом происходит нарушение сплошности русловых отложений, разрушение аллювиальной отмостки, и последующее взмучивание тонкодисперсного материала и вовлечение галечного материала в движение.

Результаты натурных экспериментальных исследований (табл. 1) характеризует роль нереста в увеличении расхода или годового стока наносов. По данным повторных батиметрических съемок (Scrivener, Macdonald, 1998; Hassan et.al, 2008) вклад сезонного нереста в годовой сток наносов оценивается на реках Канады от 25-40% до 50-60 %. Специальные гидравлические расчеты для р. Ветвей (Чалов, 2008) показали, что при известных объемах перекапываемого грунта нерест 1 особи приводит к взвешиванию в межень в среднем 5 кг тонкодисперсного материала, что при известной продолжительности нереста и рыбопродуктивности реки увеличивает сток взвешенных наносов на 5 %. В 2009 в бассейне р. Карага (Корякия) в период аномально большого захода горбуши (по данным аэровизуального учета - около 3 млн. 250 тыс.) деятельность зашедших на нерест рыб вызвало интенсивный вынос мелких фракций из русловых отложений. На участке без нерестилищ содержание мелких фракций в составе русловых отложений ($d < 0,1$ мм)

Таблица 1

Регистрируемое воздействие нереста лососей на сток наносов

Объект	Метод исследования	Результат	Источник данных
Притоки р. Такла (Канада)	Повторные батиметрические съемки	$G_0 = 140G_{0l}$	Scrivener, Macdonald, 1998
Притоки р. Такла (Канада)	Повторные батиметрические съемки; донные ловушки	$G_0 = 160G_{0l}$	Hassan, 2008
р. Ветвей (Корякское нагорье)	R: оценка транспортирующей способности потока	$R_0 = 105R_{0l}$	Данные автора
р. Хорсфлай (Канада)	Оценка грансостава отложений d, мм (%)	$d (<2 \text{ мм}) = 3d (<2 \text{ мм})_l$ $d (<0,075 \text{ мм}) = 2d (<0,075 \text{ мм})_l$	Petticrew, Albers, 2010
р. Карага (восточная Камчатка)	Повторные батиметрические съемки, измерение мутности воды; оценка грансостава отложений d, мм (%)	$G = 20-40G_l$ $d (<0,1 \text{ мм}) = 5 d (<0,1 \text{ мм})_l$	Данные автора
р. Старый Семлячик	Донные ловушки, измерение мутности воды	$G = 12 G_l$	Данные автора

Оценки суточных расходов наносов: G – расход влекомых наносов; G_l – расход влекомых наносов без учета воздействия нереста.

Оценки годового стока наносов: G – сток влекомых наносов, G₀ – сток влекомых наносов без учета воздействия нереста; R₀ – сток взвешенных наносов; R_{0l} – сток взвешенных наносов без учета воздействия нереста

Оценки диаметра русловых отложений (содержание фракций d данного размера n (% от общего объема грунта): d (<n мм)_l – на участке нерестилища; d (<n мм) – вне зоны нерестилищ.

достигало 10%, а то время как на участке нерестилищ – менее 2 %. Рост стока наносов произошел при подъеме уровня воды в реке после выпадения дождевых осадков. Между повторными батиметрическими съемками (19.08.2009) и (10.30 - 09.08.2009) уровень воды поднялся на 60 см. Столь стремительное увеличение скоростей течения и расходов воды вызвало размыв нерестовых бугров и вовлечение материала в движение. Этот отмеченный феномен наложения паводка на общее снижение противозрозионной устойчивости русла за счет нерестового воздействия привел к мощному увеличению мутности воды в реке – от 10 мг/л до 200 мг/л в течении 5 часов (при фоновой мутности в межень – 1-2 мг/л). Расход взвешенных наносов увеличился в реке с 0,1 до 3 кг/с. Разрыхление дна русла привело к увеличению транспорта крупнообломочного материала от 0,03 до 0,15 кг/с (около 2250 кг/сут) на 1 м ширины русла, или около 4,66 кг/с. Выполненные сценарные расчеты расхода влекомых наносов по методу Шамова (1) показали, что

при отсутствии лососей при паводке такого размера аллювиальная отмостка не была бы разрушена и перемещение влекомого материала отсутствовало ($G = 0$).

Аналогичные эксперименты, выполненные в августе 2010 году на р. Старый Семлячик, были направлены на учет баланса влекомых наносов в створах, расположенных на смежных перекатах выше ($G_{\text{в}}$) и ниже ($G_{\text{н}}$) нерестилища лососевых рыб, имеющего длину 235 м. Во всех случаях установки ловушек соотношение $G_{\text{в}}/G_{\text{н}}$ составляло от 0,05 до 0,2, т.е. расход влекомых наносов возрастал в 5-20 раз. При этом по мере заполнения нерестилища в течении с 02 августа по 06 августа отмечалась увеличение расхода взвешенных (в 2 раза) и влекомых (в 4 раза) наносов на контрольном створе. При этом уровень воды в период наблюдений оставался постоянным.

Влияние русловых фракций на речные биоценозы

Русловые фракции, под которыми обычно понимают частицы с диаметром $d > 0,1$ мм, только в условиях бурных потоков могут находиться во взвешенном состоянии. Крупнейшие глыбово-валунные отложения ($d > 100$ мм) приурочены к верхним горным участкам рек, образуя порожиисто-водопадные русла. Их наличие на этих реках играет исключительное значение в формировании водных биоценозов. Рыбное население на этих участках рек обычно образовано крупной молодью гольца камчатской мальмы (*Salvelinus malma*), которая предпочитает осваивать застойные и водоворотные зоны выше крупных обломков горных пород. Эти обломки создают «укрытия» для рыб за счет относительного уменьшения скоростей движения воды. Экологическая значимость крупнообломочного материала в руслах таких рек отражена в соответствующих нормативных документах по рекультивации (восстановлению) рек (Мельников..., 1982). Оно предполагает размещение крупных обломков горных пород в руслах искусственных или естественных водотоков плотностью 1 валун на 25-30 м² дна. Оптимальный диаметр этих обломков составляет 0,6 м.

Экологическая роль русловых фракций меньшего размера (песок, гравий, галька $d = 0,1-100$ мм) связана, в первую очередь, с их содержанием в составе донных отложений. Множество работ характеризует влияние мелких фракций на выживаемость икры лососевых (Charman, 1988), в то время как непосредственно составу русловых фракций внимание почти не уделялось. В то же время, по данным лабораторных и полевых исследований, прослеживается рост выживаемости икры при общем увеличении доли крупных частиц в грунте (Fisheries..., 1973). Высокая смертность икры нерки (более 90 %) в лабораторных опытах наблюдалась при низком содержании в грунте частиц руслоформирующих фракций $d > 0,5$ см (> 50 %). Видовая структура, численность и биомасса зообентоса также определенным образом зависит от гранулометрического состава донных отложений. По мере уменьшения среднего диаметра частиц грунта наблюдается устойчивое снижение биомассы B и численности N зообентоса, для рек Камчатки охарактеризованное связью ($r = 0,89$) (Леман, Чебанова, 2005)

$$B = -48.9 + 5.75d \quad (6)$$

$$N = -27.8 + 3.5d(\times 1000) \quad (7)$$

Определенную роль в формировании сообществ играет количество перемещаемого потоком твердого материала руслового генезиса. При увеличении количества влекомых наносов замедляются темпы реколонизации бентоса, разрушаются

Таблица 2

Регистрировавшиеся воздействия повышенной мутности на выживаемость лососевых рыб

Вид рыбы	Измеряемая мутность, мг/л	Продолжительность воздействия, дни	Эффект	Источник данных
Хариус (<i>Arctic grayling</i>)	25	24	6% смертность ранней молоди	Reynolds et al., 1988
Радужная форель (<i>Rainbow trout</i>)	47	1152	100% смертность икры в грунте	Slaney et al., 1977
Хариус (<i>Arctic grayling</i>)	65	24	15% смертность ранней молоди	Reynolds et al., 1988
Хариус (<i>Arctic grayling</i>)	185	72	41% смертность ранней молоди	Reynolds et al., 1988
Чавыча (<i>Chinook salmon</i>)	488	96	50 % смертность ранней молоди	Stober et al., 1981
Кижуч (<i>Coho salmon</i>)	40	96	Повреждение жабр	Lake, Hinch, 1999
Чавыча (<i>Chinook salmon</i>)	207	1	100% смертность молоди	Newcomb, Flagg, 1983
Форель, сиг-пелядь <i>Caregonus pelad</i>	1200	48	100 % смертность молоди	Зюсько, Русанов, 1989
Хариус (<i>Kamchatka grayling</i>)	> 1000	10000	100 % смертность всех рыб	ручей Ольховый, Корякия, данные автора
Горбуша, чавыча, нерка, кета	> 10	10000	Прекращение заходов на 98 %	р. Левтыриновьям, данные автора
	> 100	24-48		

нерестовые бугры. Охарактеризованное в предыдущем разделе массовое увеличение транспорта влекомых наносов в период прохождения паводка на р. Карага иллюстрирует массовую гибель икры за счет активизации транспорта руслоформирующих фракций.

Влияние бассейновых фракций на речные биоценозы

Роль мелких фракций бассейнового генезиса, под которыми обычно понимают частицы с диаметром $d < 0,1$ мм, неоднократно отмечалась разными авторами. Учитывая, что пресноводные биоценозы региона Северной Пацифики сформировались в условиях низкой естественной мутности (< 10 мг/л) (Charman, 1988 и др.), содержание в воде даже относительно небольших количеств мелких фракций сказывается на условиях жизнедеятельности лососей. Повышение мутности влияет на жилые и проходные рыбы однозначно негативно, их численность начинает постепенно снижаться. Существует прямое воздействие твердых минеральных частиц, имеющих обычно острые грани, на икру, эмбрионы и на эпителий жабр и кожу молоди лососей с последующими возможными кожными заболеваниями и нарушением функции дыхания и водно-солевого регулирования в период смолтификации.

Литературные данные позволили обобщить информацию о значениях мутности, приводивших к летальным исходам разных возрастных групп лососевых рыб (табл. 2). В зависимости от продолжительности воздействия повышенной мутности, вида рыб и изучаемой возрастной группы опасные для экосистем лососевых рек значения мутности воды фиксируются от 25 мг/л, при их хроническом воздействии. Ярким примером влияния взвесей являются реки Сейнав-Гальмознанского горного узла, где расположена крупнейшая в России открытая разработка россыпной платины (ведется с 1994 года) и где мощное поступление тонкодисперсного материала ($d < 0,01$ мм) стало основным фактором воздействия на речные биоценозы. В естественных условиях сток наносов рек Сейнав-Гальмознанского горного узла составлял 13% от суммарного стока р. Вывенки. В настоящее время он увеличился до 31 %; причем значительная часть (45%) приходится на наносы техногенного происхождения.

В водотоках района разработок максимальные значения мутности с 2004 года фиксировались в ручье Ольховый, где она превышала 100 мг/л, достигнув в 2009-2010 годах 3000 мг/л. При этом уже в первый год формирования таких высоких значений мутности ручей потерял рыбохозяйственное значение – полностью исчезла вся рыба. Впервые для рек бассейнов рек Ветвей и Левтыринываям негативные тенденции в рыбном сообществе стали отмечаться в 2006 г., когда минимальная мутность воды в межень стала превышать 10 мг/л, при этом зафиксированные максимальные значения составляли до 800 мг/л в период аварийных сбросов. По мере увеличения мутности воды происходило снижение численности заходов в эти реки, постепенно исчезала молодь. В результате к 2009 году при $S = 40-50$ мг/л в р. Левтыринываям отмечались лишь единичные заходы лососевых рыб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Речные наносы – важнейший экологический фактор формирования речных биоценозов, одновременно испытывающий мощное воздействие рыб. Имеющиеся данные позволяют на предварительном уровне обобщить это взаимодействие. В вопросах техногенных воздействий и восстановления рек, изучения условий нереста лососей оценка роли речных наносов является ключевой.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает признательность администрации Кроноцкого биосферного заповедника за предоставленную возможность проведения исследований на р. Старый Семлячик, а также коллегам по экспедициям – сотрудникам лаборатории воспроизводства лососевых рыб ВНИРО к.г.н. Есину Е.В., Сорокину Ю.В., сотруднику КамчатНИРО – Коваль О.О. и студенту географического факультета МГУ Айзелю Г.В.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеевский Н.И. 1998. Формирование и движение речных наносов. М.: Географический факультет МГУ. 202 с.

- Зюсько А.Я., Русанов В.В. 1989.** Состояние популяций хариуса в районах проведения горных работ // Экологическая обусловленность фенотипа рыб и структура их популяции. С. 125–128.
- Кольцов Д.В. 1995.** Средообразующая деятельность проходных рыб в период нереста (на примере ихтиоценоза реки Даги, Северо-Восточный Сахалин) // Вопр. ихтиологии. Т. 35, № 1. С. 78–85
- Леман В.Н., Чебанова В.В. 2005.** Реакция литофильного зообентоса на изменение гранулометрического состава грунта в метаритрали малой предгорной реки (юго-запад Камчатки) // Экология. № 2. С. 120–125.
- Маккавеев Н.И., Чалов С.Р. 1986.** Русловые процессы. М. 264 с.
- Мельников Н.В. 1982.** Краткий справочник по открытым горным работам. М.: Недра. 414 с.
- Росинский К.И., Кузьмин И.А. 1964.** Балансовый метод расчета деформаций дна потока // Труды Гидропроекта. Сб. 12. С. 265–271.
- Чалов С.Р. 2008.** Биологический фактор русловых процессов на реках Дальнего Востока // XXIII пленарное межвуз. координ. совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и сообщения. Калуга. С. 213–215.
- Шамов Г.И. 1959.** Речные наносы. Л.: Гидрометеиздат. 378 с.
- Chapman D.W. 1988.** Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids // Trans. Am. Fish. Soc. V. 117, N 1. P. 1–21.
- Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. 1973.** Fisheries engineering research program. North Pacific corps of Engineering. Portland, Oregon. 520 p.
- Hassan M.A., Gottesfeld A.S, Montgomery D.R., Tunnicliffe J.F., Clarke G.C., Macdonald S.J. 2008.** Salmon-driven bed load transport and bed morphology in mountain streams // Geophysical research letters. № 38.
- Lake, R.G. Hinch S.G. 1999.** Acute effects of suspended sediment angularity on juvenile Coho salmon // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 56. P. 862–867.
- Newcomb T.W., Flagg T.A. 1983.** Some effects of Mount St. Helens ash on juvenile salmon smolts // US National Marine Fisheries Service Review. Report No. 45. P. 8–12.
- Petticrew E.L., Albers S.J. 2010.** Salmon as biogeomorphic agents: temporal and spatial effects on sediment quantity and quality in a northern British Columbia spawning channel // Sediment dynamics for a changing future. IAHS Publ, 337. P. 251–257
- Reynolds J.B., Simmons R.C., Burkholder A.R. 1988.** Effects of placer mining discharge on health and food habits of Arctic Grayling // Water Resources. Bull. 25. P. 625–635.
- Scrivener J. C., Macdonald J. S. 1998.** Interrelationships of streambed gravel, bedload transport, beaver activity and spawning sockeye salmon in Stuart-Takla tributaries, British Columbia, and possible impacts from forest harvesting // Land Management Practices Affecting Aquatic Ecosystems. Can. For. Serv. P. 267–282.
- Slaney P.A., Halsey T.G., Tautz A.F. 1977.** Effect of forest harvesting practices on spawning habitats of stream salmonids in the Centennial Creek watershed in Vancouver. Effects of forest harvesting practices on spawning habitat of stream salmonids in the Centennial Creek watershed, British Columbia. Province of British Columbia, Ministry of Recreation and Conservation, Fisheries Management Report No. 73. 45 p.
- Stober Q.J., Ross B.D., Melby C.L., Dinnel P.A., Jagielo T.H., Salo E.O. 1981.** Effects of suspended volcanic sediment on Coho and Chinook Salmon in the Toule and Cowlitz rivers In Seattle. Technical Completion Report. FRI-UW-8124, Fish. Res. Inst., Univ. of Washington, Seattle. 147 p.
- Wagener S.M., LaPerriere J.D. 1985.** Effects of placer mining on the invertebrate communities of interior Alaska streams // Freshwat. Invertebr. Biol. V. 4. P. 208–214.