

ОПАСНЫЕ РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И СРЕДА ОБИТАНИЯ ЛОСОСЁВЫХ РЫБ НА КАМЧАТКЕ

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного
хозяйства и океанографии

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Географический факультет

ОПАСНЫЕ РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И СРЕДА ОБИТАНИЯ ЛОСОСЁВЫХ РЫБ НА КАМЧАТКЕ

под редакцией:
С. Р. Чалова
В. Н. Лемана
А. С. Чаловой



УДК 556.5: 626.01
ББК 26.222.5+28.693.32
О60

Рецензенты:

доктор географических наук, профессор Н.И. Алексеевский
доктор биологических наук, профессор Е.В. Микодина

*Печатается по решению учёных советов
географического факультета МГУ и Всероссийского научно-исследовательского
института рыбного хозяйства и океанографии*

Издание осуществлено при финансовой поддержке Центра дикого лосося,
грантов РФФИ 12-05-33090, 12-05-00348-а, гранта Президента РФ для господдержки
ведущих научных школ (№ НШ-79-2012 и НШ-1010-2014.5), ОАО «Золото Камчатки».

О60 Опасные русловые процессы и среда обитания лососёвых рыб на Камчатке/
Под ред. С.Р. Чалова, В.Н. Лемана, А.С. Чаловой. — М.: Изд-во ВНИРО, 2014. — 240 с., ил.

ISBN 978-5-85382-402-7

Монография представляет собой междисциплинарное исследование, выполненное на стыке русловедения и ихтиологии. Тема — развитие русловых процессов и изменения среды обитания лососёвых рыб Камчатки в условиях осуществления разных видов хозяйственной деятельности в долинах рек. В книге дано региональное обобщение русловых процессов рек Камчатки, рассматриваются природные и техногенные причины и последствия развития опасных (в техническом и экологическом аспектах) русловых процессов; вопросы их учёта использованы для обоснования принципов организации безопасной хозяйственной деятельности в долинах рек.

Настоящее издание обобщает многолетний опыт авторов в изучении опасных русловых процессов на Камчатке и даёт региональную комплексную оценку среды обитания (речных русел) и сообществ лососёвых рыб в условиях осуществления разных видов хозяйственной деятельности на Камчатке. Соответствующие разделы дополнены описанием истории строительства Камчатского магистрального газопровода и автодорожных мостов через реки Камчатки, организации берегозащитных мероприятий и речного рыбного промысла, создания прирусловых водозаборов.

Книга будет интересна специалистам гидрологам, геоморфологам, ихтиологам, гидробиологам, экологам, работающим не только на Камчатке. Практические выводы, сделанные в книге, адресованы органам законодательной и исполнительной власти Камчатского края, хозяйственникам и проектировщикам всех уровней.

УДК 556.5: 626.01
ББК 26.222.5+28.693.32

© Коллектив авторов, 2014
© Центр дикого лосося, 2014
© ФГУП ВНИРО, 2014
© Географический факультет МГУ, 2014

ISBN 978-5-85382-402-7

Оглавление

Введение	6
Глава 1. Русловые процессы рек Камчатки	9
1.1. Факторы формирования и изменчивости речных русел (Чалова А.С., Чалов С.Р.).....	9
1.1.1. Геолого-геоморфологическое строение и рельеф	9
1.1.2. Сток воды и водный режим рек	14
1.1.3. Сток взвешенных наносов	17
1.1.4. Руслообразующие наносы	21
1.1.5. Селевая активность.....	22
1.1.6. Карчеход и древесные заломы	26
1.2. Общая характеристика русловых процессов (Чалова А.С., Чалов С.Р.).....	32
1.2.1. Морфодинамические типы русел горных рек	36
1.2.2. Морфодинамические типы русел полугорных рек.....	40
1.2.3. Морфодинамические типы русел равнинных рек.....	42
1.3. Устойчивость русел рек и русловые деформации (Чалова А.С., Чалов С.Р., Школьный Д.И.).....	46
1.3.1. Вертикальные русловые деформации	46
1.3.2. Горизонтальные русловые деформации.....	48
Глава 2. Русловые процессы как фактор среды обитания лососёвых рыб	59
2.1. Общие сведения о лососёвых рыбах Камчатки (Леман В.Н., Есин Е.В.)	59
2.2. Характеристика среды обитания лососёвых рыб (Леман В.Н., Есин Е.В.).....	64
2.2.1. Биотопическое распределение лососей в руслах разного типа.....	64
2.2.2. Водный режим и пересыхание рек	67
2.2.3. Мутность воды.....	70
2.2.4. Состав донного субстрата и заиление	72
2.2.5. Древесные заломы.....	75
2.3. Влияние лососёвых рыб на среду нерестовых рек (Леман В.Н., Есин Е.В., Чалов С.Р.).....	76
2.3.1. Ихтиологический фактор русловых процессов	77
2.3.2. Внесение морских биогенов в речную экосистему.....	78
Глава 3. Хозяйственная деятельность в руслах и поймах рек	83
3.1. Общая характеристика и типовые проблемы	83
3.1.1. Строительство автомобильных дорог (Чалов С.Р., Завадский А.С., Улатов А.В.).....	83
3.1.2. Прокладка трубопроводов через реки (Чалов С.Р., Завадский А.С., Улатов А.В.).....	98

3.1.3. Населённые пункты Камчатки и защита их от опасных русловых процессов (Чалов С. Р., Терский П.Н., Промахова Е.В.)	113
3.1.4. Водозаборы и экологические проблемы при их эксплуатации (Чалов С.Р., Школьный Д.И.)	120
3.1.5. Речной лососёвый промысел (Чалов С.Р., Школьный Д.И.)	128
3.2. Примеры проявления опасных русловых процессов	132
3.2.1. Эксплуатация надземных переходов трубопровода (Чалов С.Р., Завадский А.С., Улатов А.В.)	132
3.2.2. Эксплуатация траншейных переходов трубопровода (Чалов С.Р., Улатов А.В.)	138
3.2.3. Защита посёлков от опасного воздействия русловых процессов (Чалов С.Р., Терский П.Н., Школьный Д.И.)	141
3.2.4. Регулирование русел рек для обеспечения рыбного промысла (Чалов С.Р., Школьный Д.И.)	174
Глава 4. Научно обоснованное управление русловыми процессами и средой обитания лососёвых рыб	183
4.1. Нормативно-правовая база гидрометеорологических и экологических исследований при хозяйственной деятельности в долинах и руслах лососёвых рек (Чалов С.Р., Терский П.Н.)	183
4.1.1. Общие положения	183
4.1.2. Проектирование инженерных сооружений в руслах и долинах рек	187
4.1.3. Проведение инженерно-гидрометеорологических и инженерно-экологических изысканий	190
4.1.4. Критерии сохранения среды обитания и минимизации опасных русловых процессов	193
4.2. Учёт опасных русловых процессов (Чалова А.С.)	197
4.3. Учёт фоновых характеристик русловых процессов (Есин Е.В., Леман В.Н.)	203
4.4. Практические рекомендации обоснования инженерных мероприятий на реках Камчатки (Леман В.Н., Улатов А.В.)	207
4.5. Рекомендации по проведению руслового и экологического мониторинга (Завадский А.С., Школьный Д.И.)	212
Заключение	215
Литература	219
Об авторах	234

Опасные русловые процессы и среда обитания лососёвых рыб на Камчатке

In-channel processes hazards and salmon habitats at the Kamchatka peninsula

...[Реки] переворачивают слоёв земных, или, натуральнее сказать, все во всём свете рудокопы не перероют столько земли, не опровергнут камней во сто лет, сколько одною весною разрушают оных льды и быстрина беспримерных вод России...

М.В. Ломоносов. О слоях земных

Введение

Деятельность водных потоков по преобразованию земной поверхности приводит к формированию разнообразных типов речных русел. Сущность этих преобразований состоит в постоянном перемещении продуктов размыва горных пород в виде эрозии, транспорта и аккумуляции наносов. Формы и интенсивность проявления русловых процессов, их экологическая и экономическая значимость отличны в разных природных и техногенных условиях. Морфологическое многообразие речных русел выражается в постоянном изменении руслами своих границ, что является важнейшим природным фактором снижения безопасности жизнедеятельности по берегам рек из-за размывов берегов, обмеления водных путей и водозаборов, нарушения устойчивости инженерных сооружений в руслах и на берегах рек и т. д. Возникновение опасности для жизни и деятельности людей относит русловые процессы к опасным природным явлениям [Беркович и др., 2000].

Русловые процессы, существенно влияющие на хозяйственную деятельность человека в долинах рек, — это, в частности, и интегральный абиотический фактор среды обитания рыб, объединяющий гидрологические и геоморфологические характеристики речных русел. Начиная с XX в., водная среда обитания рыб всё значительнее стала меняться под воздействием хозяйственной деятельности. Кроме уменьшения численности рыб из-за её вылова, всё больший масштаб стало приобретать изменение природных условий их существования за счёт гидротехнического строительства, масштабных инженерных мероприятий в руслах рек, освоения водосборов и последующего изменения стока наносов. Возникший на Американском континенте термин «лосось без рек» как раз охарактеризовал состояние речных экосистем, где естественная, воспроизводимая в природе популяция тихоокеанских лососей вследствие антропогенного преобразования рек заменена на искусственную, «заводскую», что, однако, не дало ожидаемого природоохранного эффекта [Лихатович, 2004]. На Камчатке, где лососёвые рыбы многочисленны, а реки не испытывают такого пресса, как это наблюдается в других регионах, экологические проблемы пока не столь актуальны. Однако и здесь, где лосось сохранился в естественных условиях, всё большую значимость приобретают вопросы нормирования и управления хозяйственной деятельностью для сохранения популяций рыб. Ключевой задачей в управлении хозяйственной деятельности в долинах и руслах рек является изучение фоновых условий развития русла, особенно их опасных проявлений, которые определяют стремительные изменения среды обитания и последующую деградацию сообществ лососёвых рыб.

Русловые процессы, лососи, хозяйственная деятельность — основные темы данной книги, основанной на многолетних материалах, собранных при гидрологических и ихтиологических исследованиях на реках Камчатки. Реки и лососи — неразделимые понятия на Камчатке. В реках Камчатки воспроизводятся $\frac{1}{5}$ мировых запасов диких лососёвых из родов *Oncorhynchus* и *Salvelinus*. Камчатка — один из самых речных регионов России. Общая протяжённость всех рек в Камчатском крае — более 350 тыс. км, средний коэффициент густоты речной сети — 0,76 км/км², что больше, чем в других регионах лесной зоны России (0,4–0,6 км/км²). Начало XXI в. на полуострове ознаменовалось увеличением хозяйственной активности. В стратегических планах социально-экономического развития Камчатского края [Стратегия..., 2008] было заявлено снятие инфраструктурных ограничений экономического характера (за счёт перевода электроэнергетики на местные энергоресурсы и развития транспортной инфраструктуры) и опережающее развитие на этой основе приоритетных для экономики Камчатки отраслей — рыбохозяйственного комплекса, въездного туризма, добычи и переработки

полезных ископаемых. Были запущены масштабные проекты, непосредственно затрагивающие русла рек, — магистральный газопровод от Нижне-Квакчикского газоконденсатного месторождения на западно-камчатском побережье до г. Петропавловска-Камчатского; гидроэлектростанции деривационного и плотинного типа на реках Быстрой Эссовской и Толмачёвой, разработки полезных ископаемых, в том числе россыпной платины Сейнав-Гальмоэнанского горного узла, Агинского, Асачинского, Шанучского и Озерновского рудных месторождений. С 2013 года началось активное обсуждение проектов каскада гидроэлектростанций на р. Жупановой, автодороги Петропавловск-Камчатский — Соболево, Палана-Тигиль и др.

В этих условиях вокруг рек и различных гидротехнических проектов наметился конфликт интересов. Принципы сохранения лососёвых рыб и среды их обитания оказались трудно совместимы со многими развивающимися отраслями хозяйства, а недостаточно проработанные проектные решения привели к запредельным воздействиям, вызванным не учитываемыми исходными событиями, дополнительными аварийными ситуациями, ошибочными решениями проектировщиков и строителей. Допущенные просчёты приводили к неустойчивости мостов, руслоотводных канав, береговых укреплений и других гидротехнических сооружений вплоть до их разрушений и значительным экологическим и экономическим убыткам.

Достаточно напряжённая экологическая ситуация, складывающаяся на локальных участках хозяйственной деятельности, совпала с современным периодом активизации опасных природных процессов, связанных с естественными деформациями речных русел, что, в свою очередь, отчасти оказалось связано с глобальным усилением нестабильности муссонного климата: увеличением числа и частоты катастрофических дождей, возрастанием интенсивности паводков и половодий, постоянным обновлением метеорологических «рекордов». В результате более нестабильно стали вести себя и реки, «блуждания» русел которых создают прямую угрозу хозяйственным объектам. Сразу в нескольких районах Камчатки была озвучена проблема угрозы жизнедеятельности посёлков со стороны рек. В этот список попали реки Палана, Камчатка, Паратунка и Авача. Был реализован ряд проектов по защите берегов населённых пунктов.

Изучению сообществ лососёвых рыб на полуострове Камчатка посвящено большое количество работ [Токранов, 2002, 2004], в которых была замечена тесная связь между численностью лососей и характеристиками их среды обитания [Бугаев, Шевляков, 2008]. Важные результаты достигнуты в понимании роли гидроморфологических особенностей речных русел в развитии сообществ лососёвых рыб [Смирнов, 1975; Леванидов, 1981; Леман, 1990, 2003; Есин, Чалов С. Р., 2011; Stanford et al., 2005]. С другой стороны, существует феномен обратного воздействия, связанный с прямым влиянием нереста лососёвых рыб на речные русла [Scrivener, Macdonald, 1998; Hassan et al., 2008]. Всё это определило развитие междисциплинарного «экогидрологического» подхода к изучению речных русел и сообществ лососёвых рыб [Vannote et al., 1980; Ward, 1989], имеющего широкое практическое применение в вопросах обеспечения инженерной и экологической безопасности при различных видах хозяйственной деятельности в Европе и США [Youngson et al., 2003; Luderitz et al., 2004].

В то же время исследуемая территория до настоящего время оставалась одной из наименее изученных в гидрологическом отношении [Васьковский, 1959, 1960; Евдотьев, 1971] и, в частности, в области русловых процессов [Ермакова, Чалов С. Р., 2007; Ермакова, 2008б, 2009б]. Это сказывалось и продолжает сказываться на уровне обоснования инженерных решений при гидротехническом строительстве и качестве инженерно-гидрометеорологических изысканий. Контрастный рельеф полуострова, распространение современных вулканогенных отложений, своеобразный режим стока

воды с хорошо выраженным половодьем и значительными паводками, специфические условия формирования стока наносов, обильная пойменная растительность, жизненный цикл водных организмов, наличие селевых районов обуславливают особые условия формирования русел рек, которые вследствие природных особенностей региона имеют ярко выраженные региональные черты. Учёт этих особенностей — залог безопасного (в техническом и экологическом смысле) осуществления мероприятий по регулированию русел рек и организации различного вида строительных работ по берегам рек, освоения минеральных, рекреационных ресурсов на основе принципа сохранения биоразнообразия лососёвых рыб и их устойчивого использования.

В монографии использованы данные, полученные при выполнении государственных контрактов с Министерством природных ресурсов Камчатского края, ООО «Ива» (субподрядчик ООО «Газпром трансгаз Томск»), проектов по грантам РФФИ12-05-33090, 12-05-31140, 12-05-00348-а, гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (№ НШ-79-2012), гранта Президента РФ для поддержки исследований под руководством молодых учёных (проект МК-2857.2012.5).

Огромную роль в становлении и проведении авторами многих русловых работ на Камчатке в разные годы сыграл проф. Р.С. Чалов. Большую помощь оказывали проф. Н.И. Алексеевский, проф. Н.Л. Фролова, н.с. М.А. Самохин, другие коллеги с географического и геологического факультетов МГУ им. М.В. Ломоносова. В некоторых работах на Камчатке принимали участие сотрудники, студенты и аспиранты географического факультета МГУ, Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Камчатского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, разделявшие радости и тяготы экспедиционной жизни, — А.Р. Логачёв, Г.В. Айзель, А.С. Цыпленков, А.О. Романченко, Ю.В. Сорокин, О.О. Коваль, В.В. Коломейцев, Г.С. Ермакова, А.И. Манухов. В организации и проведении работ помощь оказывали сотрудники администрации Елизовского городского поселения, Министерства природных ресурсов Камчатского края, ФГУ «Севострыбвод», проекта UNDP-GEF «Сохранение биоразнообразия лососёвых и их устойчивое использование» И.Н. Литун, Ю.Л. Махалкин, Е.В. Свяжин и другие.

Им всем авторы выражают огромную благодарность.

Глава 1 РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ РЕК КАМЧАТКИ

1.1. Факторы формирования и изменчивости речных русел

Формирование русел рек происходит в результате совместного действия природных и антропогенных факторов. Климат и речной сток, геоморфологическое строение и свойства покровных отложений, сток наносов и строение русел (руслообразующие наносы), прибрежная растительность и продукты её разрушения (карчеход и заломы) — основные естественные факторы русловых процессов. В условиях распространения продуктов вулканической деятельности особую роль играют сели вулканического происхождения (лахары), определяя облик и интенсивность развития русловых процессов на протяжённых участках рек.

На естественные условия формирования русла накладываются антропогенные факторы, изменяющие водность и сток наносов, непосредственно (механически) вмешивающиеся в жизнь рек, как-то: создание водохранилищ, разработка русловых карьеров, возведение различных инженерных сооружений в руслах и на берегах рек, в результате которых забирается (реже — добавляется) часть стока и т. д. В результате русловые процессы представляют собой природно-антропогенные явления, а система «поток–русло» — природно-антропогенную систему. Реки Камчатки в этом отношении в основном представляют собой ненарушенные системы, где роль антропогенных факторов минимальна. Однако в условиях постепенно возрастающей техногенной нагрузки их роль будет увеличиваться; одновременно будет расти вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с негативными формами проявления природных процессов (перестроиваний русел).

В настоящем разделе рассматриваются основные природные факторы развития русловых процессов, определяющие формирование разных морфодинамических типов русел и, следовательно, условия обитания лососёвых рыб.

1.1.1. Геолого-геоморфологическое строение и рельеф

Камчатку обычно принято считать горной страной, в рельефе которой преобладают вулканы. Однако строение её поверхности более разнообразно и характеризуется резкой контрастностью рельефа, изменяющегося от высоких хребтов и вулканов до обширных межгорных впадин, предгорных равнин и приморских низменностей. Тем не менее тот факт, что Камчатка является областью современного вулканизма, в значительной степени обуславливает специфику природы полуострова.

Камчатка представляет собой молодую складчатую область, формировавшуюся преимущественно в позднемеловой и кайнозойский период. Для неё, как и для других островных дуг Восточной Азии, характерна чёткая линейная зональность главных тектонических и орографических элементов. В рельефе это проявляется в чередовании вытянутых вдоль полуострова хребтов и равнинных зон (Западно-Камчатская равнина, Срединный хребет, Центрально-Камчатская равнина, Восточная зона складчатых хребтов). Самая обширная равнина располагается на западе вдоль Охотского моря. Для восточных районов полуострова характерно чередование гор и межгорных прогибов. В восточном направлении резко возрастает интенсивность современных вулканических процессов и неотектонических движений [Геология СССР, 1964]. Вулканизм в настоящее время проявляется в активной деятельности более 20 вулканов, сосредоточенных в восточной и юго-восточной части полуострова.

На Камчатке на основании различных сочетаний типов рельефа выделяют девять геоморфологических районов (рис. 1.1) [Власов, Чемяков, 1950], в пределах которых складываются различные условия формирования речных русел и развития русловых деформаций. К горным районам относятся Срединный хребет, Корякское нагорье, Восточная зона складчатых хребтов и Западная среднегорная зона; равнинные районы представлены Центрально-Камчатской депрессией, Западно-Камчатской равниной и Парапольским долом; Восточный приморский район сочетает в себе как горный, так и равнинный рельеф (среднегорный рельеф полуостровов соседствует с холмисто-увалистым рельефом и прибрежными низменностями). Особо выделяется Восточный вулканический район, развитие которого в наибольшей степени связано с продолжающейся деятельностью вулканов, где наряду с молодыми вулканическими образованиями последникового возраста встречаются и более древние.



Рис. 1.1. Геоморфологические районы Камчатки

Западная среднегорная зона занимает крайнее северо-западное положение, включая мыс Утлолок и левые притоки р. Пустой в её нижнем течении. Орографически эта зона представляет собой горные цепи, состоящие из невысоких куполообразных возвышенностей.

Срединный хребет является наиболее крупным горно-вулканическим сооружением, протянувшимся на 900 км от р. Плотникова на юге до Парапольского дола на севере. Он располагается в центральной части полуострова и образует главный водораздел между речными системами Охотского моря, Тихого океана и Берингова моря. Это глубоко расчленённая горная система со средними высотами 1200–1400 м. Характерной чертой хребта является его асимметрия: восточный склон круто обрывается к Центрально-Камчатской равнине, западный постепенно снижается и переходит в Западно-Камчатскую равнину.

Корякское нагорье является материковым продолжением Срединного хребта.

Восточная зона складчатых хребтов (в литературе зачастую именуется Восточным хребтом) представляет собой систему хребтов, простирающихся узкой полосой на 500 км в северо-северо-восточном направлении почти параллельно Срединному хребту от верховья р. Плотникова на юге до полуострова Озёрного на севере. Она состоит из нескольких горных цепей — хребтов Ганальских Востряков (Ганальского), Валагинского, Тумрок, Кумроч. К этой же системе принадлежит остров Карагинский и Пыльгинский хребет полуострова Говен в материковой части Камчатского края. Восточный хребет ограничивает с востока Центрально-Камчатскую равнину, к которой он обрывается крутым сбросовым уступом. Восточный склон хребта, наоборот, почти на всём протяжении имеет широкую зону предгорий, скрывающихся под лавовыми покровами Восточного вулканического района.

Центрально-Камчатская равнина представляет собой межгорную впадину между Срединным и Восточным хребтами, протягивающуюся почти на 530 км в северо-северо-восточном направлении. Ширина равнины в южной части колеблется от 0,5–2,0 до 8 км. В центральной части располагается плоский водораздел между двумя крупнейшими реками полуострова — Быстрой Малкинской (Большой) и Камчаткой. От водораздела к югу простирается долина р. Быстрой (Большой), к северу — долина р. Камчатки. В северо-восточном направлении ширина Центрально-Камчатской равнины постепенно увеличивается, достигая 60 км в среднем течении р. Камчатки.

Западно-Камчатская равнина вытянута вдоль побережья Охотского моря от устья р. Первой Явинской на юге до устья р. Паланы на севере. По характеру рельефа она разделяется на две части: низменную прибрежную и холмисто-увалистую, примыкающую к склонам Срединного хребта.

Парапольский дол в виде узкой впадины протянулся от северной оконечности Срединного хребта между Корякским нагорьем и Западной среднегорной зоной.

Восточный приморский район наиболее сложен и разнообразен по геоморфологическому строению. Он включает в себя гористые полуострова (Шипунский, Кроноцкий, Камчатский мыс, Озёрной), приморские низменности и равнины, а также участки низких гор вдоль побережья. Он тянется узкой полосой вдоль всего восточного побережья Камчатки за исключением южной его части.

Самым специфическим является *Восточный вулканический район*, где большое количество вулканогенного материала, слагающего речные бассейны и поступающего в реки, определяет особые условия формирования и развития русел. Район простирается широкой (до 80 км) полосой на 600 км вдоль восточного побережья Камчатки от мыса Лопатки до вулкана Шивелуча, расположенного к северу от долины р. Камчатки. Рельеф района полностью определяется процессами четвертичного вулканизма. В его

пределах развит типичный вулканический ландшафт. На обширных высоких вулканических плато, сложенных лавами и пирокластическим материалом, возвышаются вулканы в виде куполообразных холмов, хребтообразных массивов, идеально правильных конусов, расположенных группами или в одиночку. С.П. Крашенинников ещё в 1755 г. писал: «...Что касается огнедышащих гор и ключей, то едва ли может сыскаться место, где бы на столь малом расстоянии, каково в Камчатке, такое их было довольство». Плато расчленены то широкими и хорошо разработанными долинами рек, то узкими каньонообразными ущельями.

Таким образом, современный рельеф Камчатки представляет собой сложное чередование горных и равнинных районов. Из-за близости основных водоразделов к морским побережьям большинство рек Камчатки имеют сравнительно небольшую длину и значительные продольные уклоны. Резкий переход гор в предгорья и далее равнины приводит к такой же резкой смене условий формирования речных русел.

В районах развития горного рельефа преобладают узкие долины рек с ограниченными условиями развития русловых деформаций и врезанными руслами. В предгорьях для рек, как правило, характерны переходные условия развития русел от ограниченных к свободным. Русла здесь являются адаптированными, располагаются вблизи то одного, то другого коренного борта долины и имеют неширокую одностороннюю пойму, чередующуюся слева и справа в зависимости от положения русла. При переходе к равнинам речные долины расширяются, условия развития русел постепенно становятся свободными, русла — широкопойменными [Чалов Р.С., 1979, 2008].

Для рек равнинных районов со свободными условиями развития русловых деформаций характерны максимальные значения ширины пояса руслоформирования, под которым понимается расстояние между крайним правым и крайним левым рукавами разветвлённого русла либо расстояние между вершинами соседних излучин меандрирующего русла. Так, на р. Быстрой (Большой) максимальная ширина пояса руслоформирования $B_{пр}$ в пределах Центрально-Камчатской и Западно-Камчатской равнин достигает 2,5 и 3,5 км при ширине реки 50–100 и 100–200 м соответственно. На р. Камчатке максимальные значения $B_{пр}$ наблюдаются в среднем течении до 7,7 км, при ширине реки 150–200 м. Отношение ширины пояса руслоформирования к ширине русла $B_{пр}/B_p$ в этих условиях на обеих крупнейших реках полуострова колеблется от 12 до 50.

При пресечении горных хребтов и массивов речные долины и пояса руслоформирования резко сужаются. Это приводит к изменению условий развития русловых деформаций от свободных к ограниченным и смене широкопойменных русел врезанными (рис. 1.2). На р. Быстрой (Большой) на участке, где река пререзает Срединный хребет (126–75 км от устья), ширина пояса руслоформирования сокращается до 100 м, а его отношение к ширине русла — до 1,0–1,4. Равенство ширины пояса руслоформирования и ширины русла обусловлено стеснением долины горными хребтами на достаточно большом протяжении реки. Аналогичная ситуация характерна для нижнего течения р. Камчатки, где она пересекает хребет Кумроч ($B_{пр}/B_p = 1$).

Особую роль в геоморфологическом строении полуострова, как условие развития русловых процессов, занимает вулканический район. Вулканогенный материал, поступающий в изобилии на земную поверхность при извержениях, отличается очень высокой фильтрационной способностью и, соответственно, в значительной мере оказывает регулирующее влияние на сток рек. Кроме того, значительное содержание фракций лёгкого пирокластического материала в составе руслового аллювия создаёт специфические особенности транспорта наносов реками вулканических и прилегающих к ним районов и является дополнительным условием интенсивных переформирований русел.

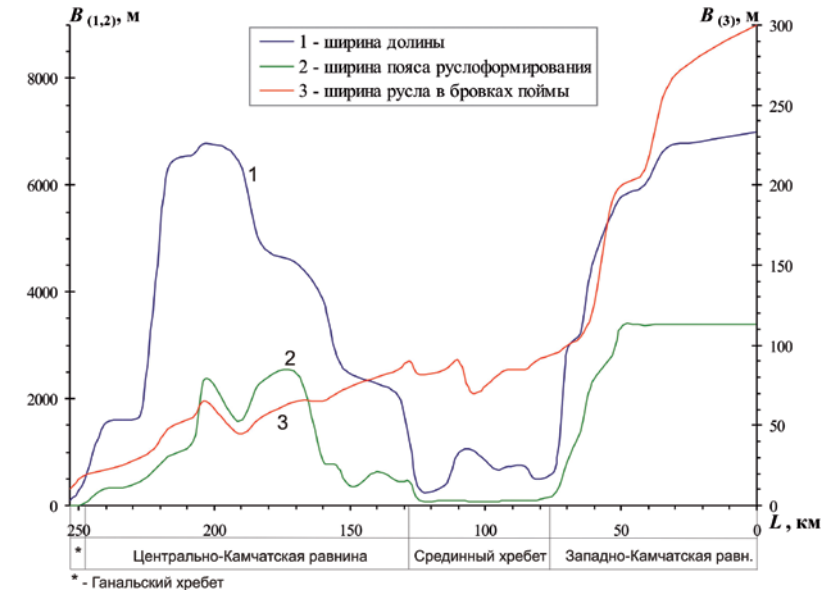


Рис. 1.2. Изменение ширины долины (B_d), пояса руслоформирования ($B_{пр}$) и русла в бровках поймы (B_p) по длине р. Быстрой Малкинской (Большой)

Вулканические извержения часто прослеживаются в строении пойменных массивов, формируя прослойки пирогенного материала. При этом характерной чертой пойм рек Камчатки является большая мощность валунно-галечного и песчаного флювиогляциального и озёрного происхождения (рис. 1.3). В крупнейших межгорных котловинах она достигает 100 м. Эти отложения часто определяют неустойчивость русла за счёт податливости размыву.



Рис. 1.3. Характерное строение подмываемых берегов предгорных рек Камчатки: А — среднее течение р. Авачи (фото П. Н. Терского); Б — среднее течение р. Камчатки (фото И. И. Тембрела)

1.1.2. Сток воды и водный режим рек

Камчатка относится к регионам с повышенной водоносностью рек и одновременно характеризуется высокой внутригодовой неравномерностью стока, которая обусловлена, помимо климатических факторов, рельефом и геологическим строением местности. Сильная расчленённость рельефа и меридиональное положение горных хребтов существенно усложняют распределение осадков и стока по территории. Положение горных хребтов в непосредственной близости от береговой линии создаёт благоприятные условия для выпадения осадков на их наветренных склонах, тогда как районы, расположенные с другой стороны этих хребтов, получают их значительно меньше. Годовые суммы осадков изменяются по территории в значительных пределах: от 2 000–2 500 мм на наветренных склонах горных массивов юга полуострова до 300–700 мм в центральной части и защищённых долинах.

Неравномерное распределение осадков по территории приводит к заметному повышению стока в речных бассейнах, охватывающих наветренные склоны горных хребтов, и его снижению в бассейнах, расположенных в тени прибрежных гор. Пониженный сток с годовыми модулями 10–20 л/с × км² наблюдается в бассейнах рек, расположенных в центральной и северной частях Камчатского края, а также на западе полуострова севернее р. Большой Воровской. Зона умеренного стока характеризуется величинами годового модуля стока от 20 до 30 л/с × км². Сюда относятся все реки восточного побережья севернее бассейна р. Авачи, нижнее течение р. Камчатки, а также некоторые реки, впадающие в Охотское море южнее р. Большой Воровской. Зона высокого стока с годовыми модулями от 30 до 80 л/с × км² охватывает южную часть полуострова, включая бассейны рек Большой (Быстрой Малкинской) и Авачи [Ресурсы... 1973].

Природные условия Камчатки определяют специфические особенности распределения стока воды по источникам питания и, соответственно, его режим. Основным источником питания рек является подземный сток, однако его формирование происходит, главным образом, за счёт таяния снега. В соответствии с классификацией М.И. Львовича [1989] на Камчатке наибольшее распространение имеют реки с преимущественно подземным питанием (50–70% годового стока) при значительном участии талого стока. Бассейны рек со смешанным питанием занимают сравнительно небольшую территорию и расположены в южной части Срединного хребта и Западно-Камчатской равнины. Преимущественно снеговое питание характерно для рек северной, материковой части Камчатского края.

По характеру внутригодового режима реки Камчатки разделяются на четыре группы, различия между которыми обусловлены в основном положением бассейна в том или ином районе полуострова и средней высотой и размерами бассейна [Васьковский, 1960]:

— к первой группе — с весенним половодьем и паводками в летне-осенний период — относятся небольшие реки, бассейны которых имеют среднюю высоту менее 200 м. Такой же режим имеют реки, протекающие по днищу долины р. Камчатки;

— ко второй группе — с весенне-летним половодьем и летне-осенним паводочным периодом — относятся реки, бассейны которых расположены в пределах холмисто-увалистой части Западно-Камчатской равнины и западного склона Срединного хребта, а также многие реки восточного побережья. Характерной чертой режима рек этой группы является наличие хорошо выраженного весенне-летнего половодья, на которое накладываются значительные дождевые паводки;

— к третьей группе — с весенне-летним половодьем — относятся горные

реки со средней высотой бассейна более 200 м, расположенные в восточной части полуострова, а также крупнейшая река полуострова, Камчатка (средний годовой расход воды у с. Пушино в 688 км от устья — 24,2 м³/с, максимальный — 30,7 м³/с, минимальный — 18,4 м³/с; у с. Большие Щёки в 61 км от устья — 914, 1 210 и 741 м³/с соответственно), и её притоки;

— к четвёртой группе — с летним половодьем и осенним паводочным периодом — относятся реки юго-западной оконечности полуострова, где высокие дождевые паводки наблюдаются даже в начале зимнего периода (ноябрь – декабрь).

Основной фазой водного режима рек Камчатки является весенне-летнее половодье, во время которого проходит 50–80% годового стока. Благодаря соседству равнинных и горных районов таяние снега происходит неравномерно, что обуславливает две волны половодья. На спад половодья для многих рек (в основном, западного и восточного побережья) накладываются дождевые паводки, определяющие большую продолжительность периода повышенной водности, что является фактором развития интенсивных руслых деформаций.

Таким образом, в пределах территории Камчатского края по типу питания преобладают реки с преимущественно подземным питанием, по внутригодовому режиму — реки с весенне-летним половодьем и летне-осенним паводочным периодом. В этом и заключается специфика водного режима рек Камчатки. Несмотря на обильные атмосферные осадки, особенно в зимний период, и чётко выраженное половодье, а на многих реках и паводочный период, доля подземного питания в целом оказывается несколько выше, чем доля снегового. В первую очередь это обусловлено распространением пористых вулканогенных пород и трещиноватых лавовых покровов, которые аккумулируют в себе атмосферные осадки и талые воды, отдавая их реке в виде подземного источника питания.

В среднем доля подземного стока в общем питании рек Камчатки составляет 57%, но колеблется в широких пределах, доля подземного питания для среднего по водности года для р. Авачи составляет 50%, для р. Камчатки — 60–64%, для р. Тигиля — 75 % годового объёма. На некоторых малых реках она достигает 90% — реки Озёрная и Николка Первая (бассейн р. Камчатки), которые образуются от обильных выходов подземных вод у подножия вулканов Толбачинского и Николки соответственно. В то же время для других рек полуострова на долю подземного питания приходится всего 25% — Большая Воровская, Быстрая Эссовская; бедность подземными водами бассейнов этих рек связана со слабой водоносностью древнего кристаллического комплекса Срединного хребта, в пределах которого расположены их верховья.

Однако наряду с увеличением доли подземного питания широкое распространение вулканогенных отложений и трещиноватых лавовых покровов как непосредственно в вулканических, так и в прилегающих к ним районах обуславливает фильтрацию руслвого потока в толщу речных отложений [Ермакова, 2008а]. Изменения водного режима за счёт фильтрации на Камчатке связано с распространением вулканогенно-аллювиальных и вулканогенно-пролювиальных отложений, представленных, как правило, слабо сцементированным песчаниково-галечниковым материалом четвертичного возраста. Процесс фильтрации в отдельных случаях достигает 100 % от объёма стока, что приводит к пересыханию рек в межливный период на значительных участках (рис. 1.4, 1.5 А). Верхние звенья речной сети на склонах вулканов часто оказываются отчленёнными от основной речной системы. Основная часть водотоков достигает уровня приёмных водоёмов только в период половодья, т. е. в течение 3 месяцев (согласно данным многолетних наблюдений на реках Аваче и Толбачике). Некоторые русла находятся в обсохшем состоянии до 10 месяцев в году.

А



Б



Рис. 1.4. Русло р. Гаванки (бассейн р. Авачи): А — 19 мая 2007 г.; Б — 26 мая 2007 г. (фото А. С. Чаловой)

Неравномерность стока определяет в значительной степени тип русла и особенности русловых переформирований. Обломочный материал, поступающий в русла с горных склонов, переносится речными потоками в периоды повышенной водности. При выходе рек из гор на равнины происходит его накопление и образование многочисленных осередков и прирусловых отмелей. В периоды уменьшения поверхностного стока происходит обсыхание отдельных рукавов, упрощение структуры разветвлений вплоть до смены морфодинамического типа русла с разветвлённого на неразветвлённое.

Наиболее ярко неравномерность стока воды выражена в районах современного вулканизма в пределах рек лахаровых долин [Краевая, 1964]. Эти реки часто называются «сухими» из-за основной особенности их стока — эпизодичности, что объясняется, прежде всего, очень высокой водопроницаемостью рыхлых пород, слагающих склоны и подножия действующих или недавно потухших вулканов. Вследствие этого уровень грунтовых вод в вулканических районах залегает очень низко; поверхностный водоток находится как бы в подвешенном состоянии по отношению к нему и очень быстро фильтруется в вулканические отложения, постепенно заполняя подрусовые пути. Последнее уменьшает фильтрацию и, таким образом, определяет увеличение поверхностного стока. Освобождение подземных горизонтов вызывает очередное усиление фильтрации, являясь причиной также усиления внутрисуточной цикличности стока (рис. 1.5). Кроме того, неравномерность стока «сухих» рек обусловлена эпизодическим характером их питания за счёт таяния снега, атмосферных осадков и катастрофического таяния снега и льда во время извержений вулканов. Всё это ведёт к тому, что районы современного вулканизма не имеют постоянной речной сети (рис. 1.6).

Таким образом, особенности геологического строения и распределения атмосферных осадков по территории определяют тесное соседство районов повышенного стока воды с районами распространения пересыхающих рек. В результате специфики взаимодействия поверхностных и подземных вод значительная доля питания рек Камчатки приходится на подземное, в то время как основной фазой водного режима является весенне-летнее половодье.

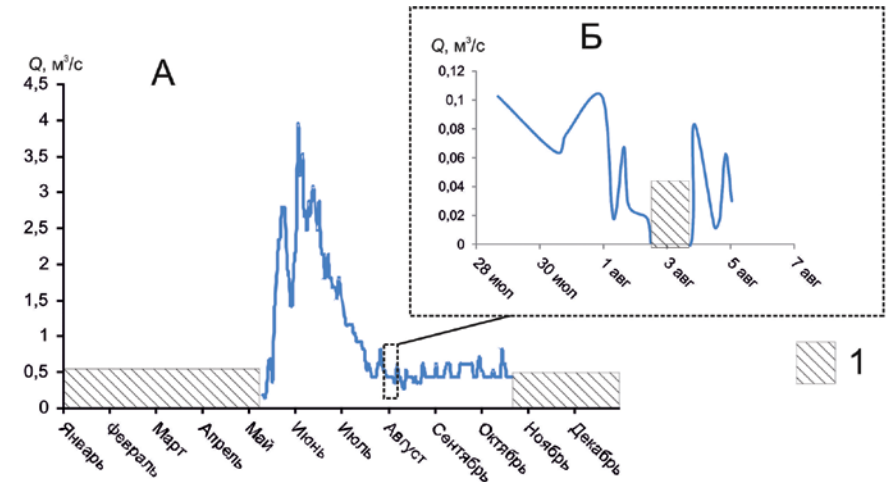


Рис. 1.5. Внутрисезонный (А, р. Гаванка) и внутрисуточный (Б, р. Сухая Елизовская) режим расходов воды (Корякско-Авачинская группа вулканов)
1 — периоды без стока

А



Б



Рис. 1.6. Сезонная изменчивость стока воды рек лахаровых долин (р. Сухая Авачинская):
А — 19 мая 2007 г.; Б — 12 июня 2007 г. (фото А. С. Чаловой)

1.1.3. Сток взвешенных наносов

Сток наносов рек и ручьёв формируется за счёт эрозионных процессов на поверхности водосбора (склоновая эрозия) и в речной сети. Существенное влияние на развитие эрозионных процессов на водосборе оказывают физико-географические и климатические условия территории. Водно-эрозионная деятельность на водосборах рек Камчатки слабее, чем следовало бы ожидать, судя по преобладанию сильно расчленённого горного рельефа и выпадению довольно большого количества осадков (около 600 мм) в тёплую часть года. Высокая прочность горных пород (базальты,

гнейсы), с одной стороны, и распространение сильнопористых трещиноватых пород, обладающих хорошей инфильтрационной способностью, с другой, обуславливают слабую эрозионную деятельность поверхностных вод и незначительное поступление наносов в реки. Малая мощность почв в горных условиях, распространение древесной и густой травянистой растительности также ослабляют процессы эрозии и поступление наносов в реки.

Камчатка относится к регионам с крайне неоднородной мутностью воды рек. Соседство вулканических и невулканических районов на Камчатке обуславливает очень широкий диапазон значений мутности воды на реках полуострова. Большая часть полуострова, а также материковая часть Камчатского края располагается в зоне пониженных значений мутности воды — менее 50 мг/л [Ресурсы..., 1973]. Большинство рек вулканических территорий в половодье и паводки характеризуется значениями мутности, превышающими благоприятные для лососёвых рыб величины. В правобережных притоках среднего течения р. Камчатки и левобережных притоках р. Авачи средняя годовая мутность превышает 100 мг/л. Для рек, стекающих со склонов восточных хребтов, и в пределах распространения областей с новейшими вулканическими отложениями значение средней мутности превышает 500 мг/л. В межень мутность здесь не опускается ниже 100 мг/л. В составе взвеси преобладают фракции мелкого и среднего песка и пыли (рис. 1.7), которые частично осаждаются при выходе на равнины — Центрально-Камчатскую и Западно-Камчатскую, а также в Восточный приморский район [Ермакова, 2009б].

Экстремально высокая мутность (более 700 мг/л) отмечается в реках, протекающих по долинам, образованным в результате деятельности лахаров. Здесь происходит насыщение потока пирокластическим материалом до первых процентов объёма и формируется гиперконцентрированный поток, в котором мутность в весовом эквиваленте может составлять 10^4 мг/л и более. Насыщение потока материалом происходит за счёт максимального модуля смыва, характерного для лишённых растительности склонов вулканов и днищ лахаровых долин с большим уклоном (в пределах 25–60%). Из-за лёгкости материала в составе взвеси переносятся песчаные и даже галечные частицы (рис. 1.7). По наблюдениям на р. Сухой Елизовской (Авачинско-Корякская группа вулканов), при расходе воды $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ размеры перемещаемых частиц в потоке достигают 5 см (средняя галька).

Ряд рек даже на территориях современного вулканизма характеризуется малой мутностью. Такие водотоки характерны для горных районов, сложенных твёрдыми кристаллическими породами, болотно-тундровых равнин, зонам многолетней мерзлоты. Они распространены на западном склоне Срединного хребта и Западно-Камчатской низменности (р. Большая (Быстрая Малкинская), Удова, Большая Воровская, Тигиль, Вомяполка и др.), на материковой части Камчатского края (р. Тылговая), в южной части полуострова (р. Паратунка, Ходутка, Озёрная, Паужетка), в верховьях бассейна р. Камчатки (р. Кунч, Уксичан, Быстрая Эссовская, сама р. Камчатка в верхнем течении). В зависимости от условий формирования стока наносов в пределах конкретного водотока меняется доля самых мелких глинистых и илистых фракций в составе взвеси (рис. 1.7).

Внутригодовые изменения мутности воды происходят в основном синхронно с колебаниями водности, но сроки прохождения пика мутности и водности в некоторых случаях не совпадают. В период весенне-летнего половодья в большинстве случаев пик мутности наступает раньше даты максимального расхода воды, что объясняется более интенсивными размывами русла, берегов реки и поверхности водосбора на подъёме половодья. Кроме того, в это время отмечается разрушение берегов ледоходом.

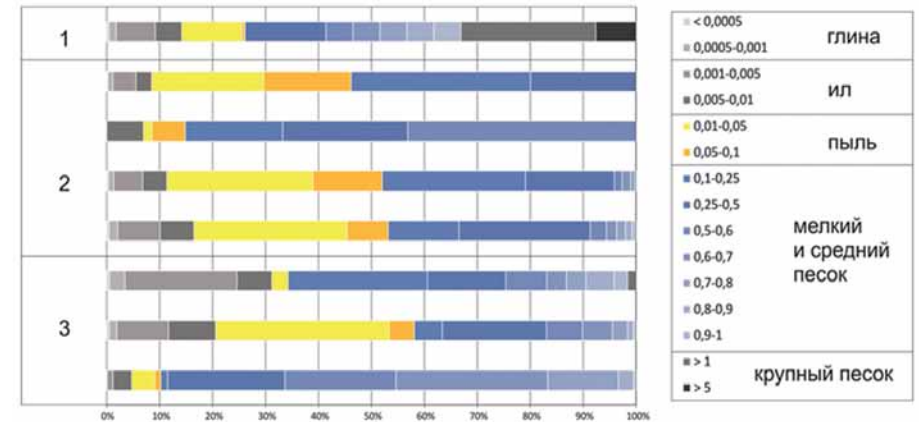


Рис. 1.7. Гранулометрический состав взвеси рек с малой (3) и повышенной (2) мутностью, а также гиперконцентрированных потоков (1) в бассейне р. Авачи (Авачинско-Корякская группа вулканов, бассейн р. Сухой Елизовской)

Абсолютные значения колебаний мутности воды в течение года подчиняются тем же пространственным закономерностям, что и водность рек. Разница между средним годовым и максимальным значениями мутности максимальна для рек вулканических и прилегающих к ним районов: для р. 1-й Мутной её значение достигает 2 290 г/м^3 , для правобережных притоков р. Камчатки — от 500 до 1 100 г/м^3 . Напротив, для рек с минимальными значениями мутности воды характерны и наименьшие её колебания в течение года. Так, для рек, стекающих со склонов Срединного хребта, разница между средней годовой и максимальной мутностью не превышает 300 г/м^3 , для рек бассейна р. Большой (Быстрой Малкинской) её значение составляет менее 50 г/м^3 .

Для рек Камчатского края характерная фаза повышенного стока наносов, закончившаяся в конце 1970-х — начале 1980-х гг., в последующие годы стала характеризоваться, наоборот, пониженным стоком [Куксина, 2014]. Эти закономерности нарушаются в бассейнах рек, находящихся в зоне активного вулканизма. Изменение стока взвешенных наносов во времени зависит от активности вулканов. После крупных извержений сток взвешенных наносов может возрастать в 5 раз, а мутность воды в руслевой сети водотоков на склонах вулканов достигать 600 кг/м^3 [Куксина, Чалов С. Р., 2012].

Фактором трансформации стока взвешенных наносов на Камчатке в последние годы является хозяйственная деятельность, особенно разработки полезных ископаемых [Леман, Чалов С. Р., 2009; Chalov S.R., 2014]. С 1994 по 2008 г. осуществляется разработка крупнейшего на северо-востоке России Сейнава-Гальмозанского месторождения россыпной платины, расположенного в долинах трёх лососёвых нерестовых рек — Левтыриновьяма (верховье), Ветвея (ручьи Ледяной и Южный) и Янытайлыгиновьяма (ручьи Пенистый и Ветвистый), относящихся к бассейну р. Вывенки (Корякия). Оно является одним из семи крупнейших месторождений россыпной платины в мире. В 2008 г. общая площадь нарушенных земель составила около 19 км^2 , суммарная протяжённость руслоотводов — около 40 км. Если фоновая мутность воды малых рек в межень при отсутствии осадков составляет около 1 мг/л , в период половодья — $3\text{--}5 \text{ мг/л}$, то в р. Вывенке мутность выше — около $30\text{--}40 \text{ мг/л}$.

В водотоках района разработок россыпной платины максимальные значения мутности с 2004 г. фиксировались в ручье Ольховый, где она превышала 100 мг/л, а в 2008–2011 гг. постоянно составляла не менее 2000–3000 мг/л. Для бассейнов рек Ветвея и Левтыринываяма минимальная мутность воды в межень стала превышать 10 мг/л начиная с 2006 г., при этом зафиксированные максимальные значения составляли до 800 мг/л в период аварийных сбросов (проведения горных работ в руслах рек). Многолетняя динамика поступления взвешенных веществ в речную систему (рис. 1.8) свидетельствует о том, что воздействие определяется объемом горных работ (вскрышей и площадью нарушенных земель). На фоне относительно стабильного суммарного увеличения площади нарушенных земель вплоть до 2008–2009 гг. локальные особенности ведения горных работ на отдельных участках определяли итоговый объем поступления взвешенного материала. Пик выноса материала в речную систему 2006 г. был приурочен к вводу в эксплуатацию новых участков добычи и в этой связи активным приращением здесь новых руслоотводов и интенсификацией в них русловых деформаций. В результате в этот период наблюдались самые высокие значения стока наносов в системе р. Ветвея. Высокие значения стока наносов в 2009 г. были связаны с самыми высокими сбросами сточных вод в ручей Ольховый и одновременно максимальной за период наблюдений (40 мг/л) техногенной мутностью в р. Левтыринываяме. Это объясняется последствиями самых высоких объемов вскрыши торфов и промывки песков, наблюдавшихся на территории участка № 1 и в целом в пределах разработок россыпной платины в 2008–2009 гг.

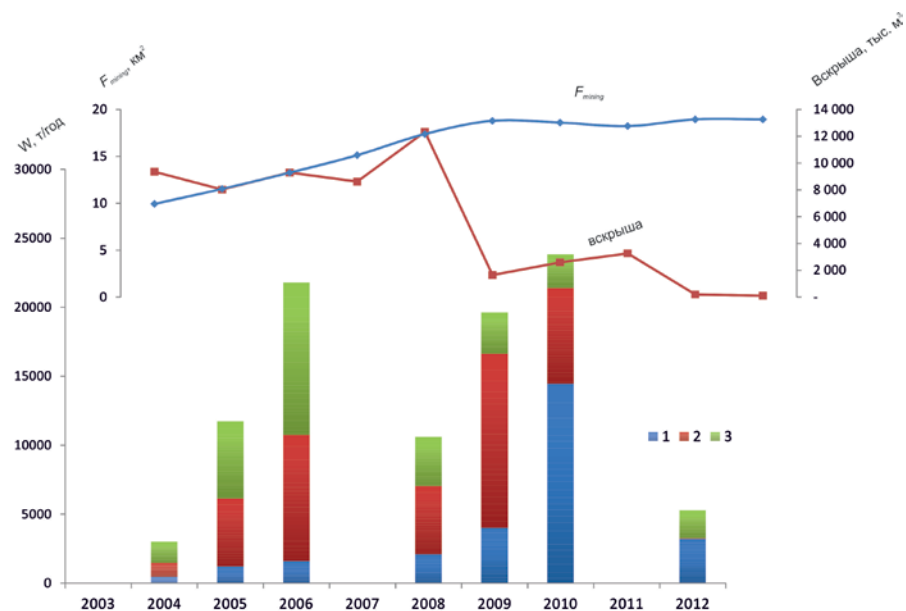


Рис. 1.8. Многолетняя динамика техногенного стока наносов (W , т/год) в бассейне р. Вывенки в связи с изменением объема вскрыши (тыс. м³) горных пород и площади нарушенных земель ($F_{\text{мининг}}$, км²):
1 — р. Левтыринываяма; 2 — ручей Ольховый; 3 — р. Ветвея

1.1.4. Руслообразующие наносы

Руслообразующие наносы формируются при размыве ложа реки путём привноса твёрдого материала притоками, а в горах — вследствие непосредственного поступления его в русла со склонов. Очевидно, что на Камчатке их распространение и состав определяется современными гидрологическими условиями, геологическим строением территории и спецификой распространения вулканогенных отложений. Важнейшим специфическим фактором формирования руслообразующих наносов следует считать подачу в русла рек больших масс рыхлого вулканического материала при движении лахаров (селевых потоков, возникающих на склонах вулкана) и лавовых потоков при вулканических извержениях.

Поскольку полуостров Камчатка сочетает в себе как горные, так и равнинные территории, в пределах которых формируются русла различных типов, руслообразующие наносы также отличаются широким разнообразием — от мелких песков до валунов. Наибольшее распространение на реках полуострова имеют галечные наносы.

Область преобладания галечно-валунных и валунных наносов относится к горной территории, где большие уклоны, несмотря на относительно малую водоносность, определяют довольно высокую мощность потока. В переносе крупнообломочного материала наряду с силами гравитации и скоростного напора участвует также гидростатический напор (из-за соизмеримости глубин потока с размерами валунов и глыб), что приводит к беспорядочному расположению крупных обломков в русле и перемещению их на значительное расстояние от места поступления [Чалов Р.С., 1979]. Валунный и галечно-валунный состав руслообразующих наносов характерен в основном для горных рек с неразвитыми аллювиальными формами и порожиство-водопадным руслом, в меньшей степени для крупных горных рек с развитыми аллювиальными формами.

Вниз по течению горных рек по мере расширения долин и уменьшения уклонов, при переходе от гор к предгорьям и далее к равнинам начинается область преобладания галечных наносов. Непосредственные источники поступления крупнообломочного материала здесь, как правило, отсутствуют. Лишь в местах впадения крупных горных притоков или стеснений долины горными хребтами отмечается некоторое увеличение доли более крупных обломков в составе донных наносов. Преобладание галечных наносов характерно для полугорных и горных рек с развитыми аллювиальными формами, а также для некоторых горных рек с неразвитыми аллювиальными формами. Однако средняя крупность не всегда является индикатором типа русла. Так, р. 1-я Мутная в районе гидрологического поста является горной рекой с развитыми аллювиальными формами, имеет большой уклон (10%), крупность руслообразующих наносов $d_{\text{ср}}$ составляет 2,19 см, что соответствует мелкой гальке. Большинство же рек с таким типом русла и близкими значениями уклона имеют средне- и крупногалечные русла. Вероятно, снижение средней крупности наносов связано с тем, что бассейн реки расположен в вулканическом районе, в результате в составе наносов значительная доля принадлежит частицам пористых пирогенных пород, подверженных быстрому истиранию и дроблению. Действительно, фракционный анализ гранулометрического состава донных наносов обнаруживает два максимума — для частиц размером 5–10 и 0,1–0,05 см. Первая фракция соответствует частицам горных пород, поступающим со склонов хребтов, вторая — частицам вулканогенных пород.

Появление песка в составе руслообразующих наносов характерно в основном для равнинных рек, поэтому песчаные и песчано-галечные наносы распространены на реках, протекающих по низменностям полуострова. Песчано-галечные русла

формируются на реках с минимальной мощностью потока, они свойственны в большей степени малым равнинным рекам. Песчано-галечный состав руслообразующих наносов характерен также для среднего и нижнего течения крупнейшей реки полуострова — Камчатки, которая на значительном протяжении протекает по поверхности Центрально-Камчатской депрессии и имеет сравнительно небольшие уклоны (0,83‰ — у с. Верхне-Камчатск в 590 км от устья, 0,14‰ — у пос. Козыревск в 250 км от устья).

Однако особенности геолого-геоморфологического строения Камчатки обуславливают тот факт, что большинство рек полуострова пересекает равнины в широтном направлении и, соответственно, имеет достаточно большие продольные уклоны. Поэтому многие реки даже в пределах равнинных районов (Западно-Камчатской равнины, Центрально-Камчатской депрессии) остаются полугорными и имеют галечные русла — р. Быстрая (Большая), р. Большая Воровская.

Таким образом, на особенности распространения и специфику состава руслообразующих наносов наложили отпечаток процессы активного вулканизма. Наряду с рельефом территории и современными гидрологическими условиями важнейшим фактором формирования наносов является попадание в реки больших масс рыхлого вулканического материала. Высокая пористость пирогенных обломков, формирующих сток наносов рек лахаровых долин, способствует их быстрому истиранию и дроблению в процессе переноса речными потоками. Поэтому средняя крупность руслообразующих наносов этих рек оказывается всегда несколько ниже по сравнению с аналогичными реками, протекающими в невулканических районах полуострова.

1.1.5. Селевая активность

Наличие большого количества рыхлого пирогенного материала и своеобразное морфологическое строение долин и русел рек вулканических территорий обуславливают возможность образования селевых потоков, которые являются мощным фактором резких и даже катастрофических преобразований речных русел вплоть до исчезновения последних. На территории Камчатки выделяют районы различной селевой опасности [Селеопасные... 1976]. Значительная селевая опасность характерна для областей современного вулканизма (восточная и юго-восточная части полуострова). Здесь сели возникают преимущественно в результате быстрого таяния снега и льда на склонах вулканов при их извержении. Каменные и грязекаменные сели, насыщенные вулканическим пеплом, песком, лапиллями — вулканическим шлаком, обломками и глыбами лавы, достигающими нескольких метров в поперечнике, движутся по руслам рек или нерусловыми потоками, растекаясь по склонам.

Реки селевых районов Камчатки разделяются на два типа: непосредственно селевые реки и реки, испытывающие на себе влияние селей. К первому типу относятся реки, по руслам которых проходят сели (ручей Водопадный в Долине гейзеров, расположенной в Кроноцком заповеднике, к югу от Кроноцкого озера); ко второму — реки, по руслам которых сели не проходят, но притоки их являются селевыми (р. Шумная в Долине гейзеров). Для рек первого типа характерны значительные русловые переформирования при сходе селей и заполнении их русел селевым материалом. Возможны даже кардинальные изменения положения русел вплоть до исчезновения старых и возникновения новых. Для рек второго типа образование конусов выноса селевых притоков воздействует на речной поток, отклоняя основное течение к противоположному берегу, обуславливая формирование новых рукавов. В продольном профиле таких рек формируются чётко выраженные ступени,

соответствующие местам впадения селевых притоков: выше их устьев наблюдается снижение уклонов русла, ниже по течению — увеличение. Подобные закономерности воздействия селей на русла рек характерны и для других горных районов. В частности, для селевых районов на Кавказе, в долине р. Баксана [Виноградова и др., 2005] и для рек Зайильского Алатау [Кузнецов, Чалов Р.С., 1988].

Очень большие сели наблюдались на Камчатке на склонах и у подножий Ключевской и Авачинской групп вулканов и вулкана Шивелучи [Селеопасные... 1976]. Одним из наиболее грандиозных был сел, связанный с извержением вулкана Безымянного в Ключевской группе в марте 1956 г., когда направленный взрыв снёс значительную часть вулкана. Образовавшийся при этом горячий пепел растопил слой снега в 1–2 м. За этим последовало излияние раскалённого пирокластического потока, основная ветвь которого прошла по долине р. Сухой Хапицы. В результате бурного таяния снега в долине этой реки и на склонах сопки Ключевской и Зиминной образовались мощные лахары, увлёкшие за собой значительные массы рыхлого материала, в том числе глыбы до 2 м в поперечнике и более. Далее грязекаменный селевой поток прошёл по долине р. Большой Хапицы до р. Камчатки (общий путь около 90 км). Ширина отдельных ветвей селевого потока, пробивавших себе путь среди леса, достигала 2 км. В русле р. Сухой Хапицы на протяжении 15 км от конца пирокластического потока образовались нагромождения селевого материала толщиной до 20 м [Краевая, 1969; Винорадов, 1969].

Наиболее известным событием, связанным с деятельностью селей, стало обвальное-оползневое перемещение 20 млн м³ горных пород 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров [Воробьёвский и др., 2010]. Сел был вызван сходом оползня в долину ручья Водопадного. Он прошёл вниз по руслу Водопадного, достиг р. Гейзерной и далее по её каньону до впадения в р. Шумную. Каньон, по которому тёк ручей, в считанные секунды оказался полностью заполнен обломочным материалом (рис. 1.9).

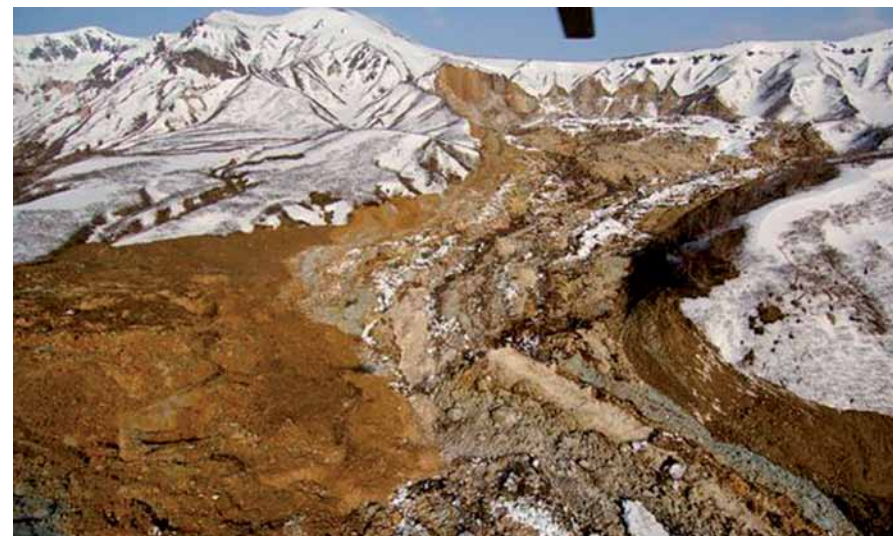


Рис. 1.9. Селевая масса, заполнившая долину ручья Водопадного, июнь 2007 г. (фото И.П. Шнилёнок, http://kcs.dvo.ru/ivs/geyser_valley/index.html)

На р. Гейзерной образовалась запруда высотой до 60 м, что привело к резкому подъёму воды в реке и возникновению запрудного озера (рис. 1.10). Озеро затопило некоторые красивейшие гейзеры, уровень воды в нём продолжал подниматься и через 4 дня достиг максимальной отметки 435 м (относительная высота подъёма уровня воды составила почти 60 м). Однако река нашла проход через запруду, пробив себе новое русло в теле оползня, после чего уровень воды в озере стал снижаться (рис. 1.10). Образование запруды и озера на р. Гейзерной привело к возникновению подпора и аккумуляции переносимого рекой материала выше по течению. Ниже озера речной поток обеднён наносами, что приводит к размывам и переносу вниз по течению селевого материала и формированию нового русла. Однако интенсивность развития этих процессов слабая, поскольку транспортировка речным потоком крупных обломков селевого происхождения довольно затруднительна.



Рис. 1.10. Последствия схода селея в Долине гейзеров 3 июня 2007 г. (внизу — снимок из космоса)

Наиболее яркие проявления селевой активности отмечаются в реках, протекающих в долинах, образованных в результате деятельности лахаров. Распространение на Камчатке лахаровых долин связано с историческими сходами склонов лахаров большинства действующих вулканов Восточного вулканического района: Шивелуч, Ключевской сопки, Безымянного, Комарова, Гамчен, Кизимен, Тауншиц, Кихпинич, Авачинского, Корякского, Опала, Мутновского, Горелого, Ксудач, Кошелева, Ильинского, Камбального (рис. 1.11). Сходы вулканических селей на низменные территории приводят к образованию плоских веерообразных конусов выноса в виде наклонных пролювиальных шлейфов. Выпалаживание продольного профиля здесь настолько резко (на протяжении 3–5 км уклон реки уменьшается в 3–4 раза, от 60–70‰ до 15–20‰), что водные потоки аккумулируют наносы и теряют способность формировать русло, растекаясь по собственному конусу выноса и часто теряясь в рыхлых отложениях. Это определяет пространственную локализацию лахаровых долин.

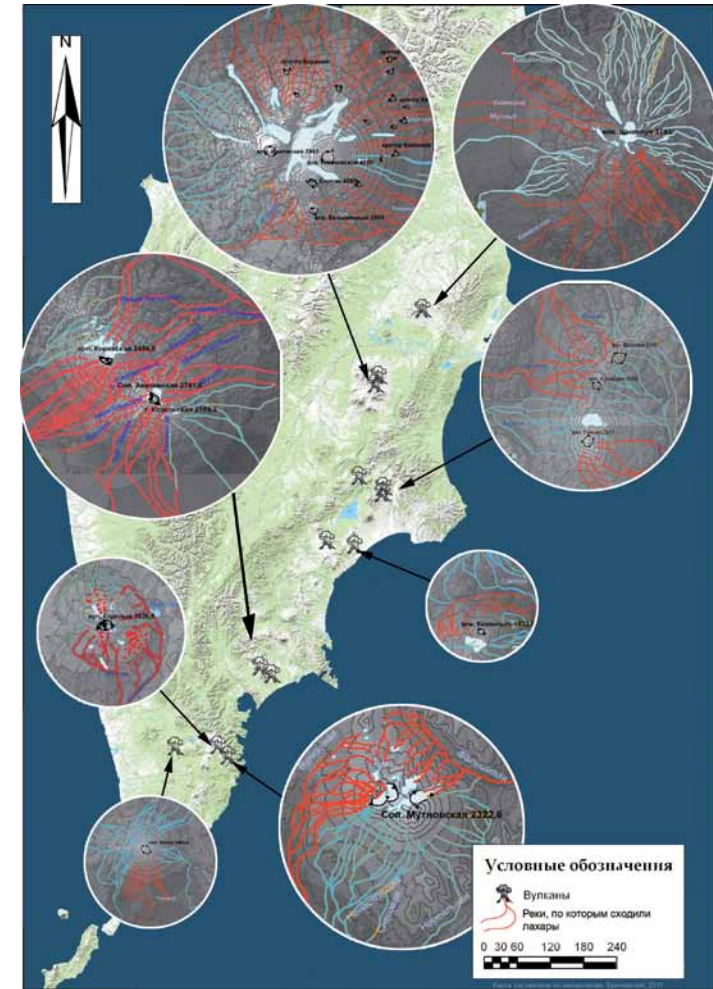


Рис. 1.11. Распространение лахаровых долин на Камчатке — специфических условий развития русловых процессов (карта подготовлена А.С. Цыпенковым)

В условиях поступления большого количества материала вулканического происхождения протекают реки, которые отличаются специфическим гидрологическим и русловым режимом [Чалов С.Р. и др., 2010б]. Они характеризуются неравномерным стоком воды, имеющим сезонный и суточный ход, очень высокими мутностью и стоком наносов. Лахаровые отложения представлены туфовыми конгломератами и конглобрекциями. Грубообломочный материал в отложениях лахаров может составлять от одного до нескольких десятков процентов. Сортировки материала по крупности в этих отложениях не наблюдается. В некоторых случаях присутствует своеобразная вертикальная сортировка по гранулометрическому составу: наиболее

крупные обломки в кровле отложений. Такие отложения характерны для связанных селей, обладающих высокой несущей способностью. Большие количества транспортируемого потоком материала являются причиной формирования осередковых разветвлений. В результате русла рек характеризуются крайне высокой динамикой (см. гл. 1.3), а преобладающим морфодинамическим типом являются прямолинейные русла с осередковой разветвлённостью (рис. 1.12, см. гл. 1.2).



Рис. 1.12. Реки лахаровых долин Камчатки: А – р. Сухая Хапица — прямолинейное русло с осередковыми разветвлениями (фото Е. В. Есина); Б – р. Кабеку — 3-метровая толща аккумуляции (фото А. С. Цыленкова)

В историческом масштабе времени крупные лахары определяли изменение русловой сети крупнейших рек полуострова. Так, активное блуждание русла характерно для р. Авачи в пределах приморской низменности [Мелекесцев и др., 1995]. Авача, берущая начало в отрогах Ганальского и Валагинского хребтов и ныне впадающая в Авачинскую губу, ранее впадала в Тихий океан в районе Халактырского пляжа (рис. 1.13), с чем и связано образование дельтовых отложений, в составе которых присутствует галька метаморфизованных пород Ганальского хребта. Авачинский залив и долину р. Авачи разделял невысокий хребет северо-западного простирания, соединявшийся в районе с. Елизово с Южно-Быстринским хребтом. Северными склонами долины р. Авачи являлись склоны вулканов. В результате катастрофического извержения Авачинского вулкана долина р. Авачи была полностью перекрыта вулканическими отложениями [Апрелков, 1964]. Направленным взрывом была уничтожена вершина вулкана. Опустошение магматической камеры привело к проседанию юго-западного склона вулкана. Лахаровые потоки стали стремительно сносить материал извержений в долину. Перекрытие долины произошло очень быстро, в противном случае река размывала бы созданную плотину и восстановила прежнее русло. В районе Елизово в результате подпруживания реки образовалось крупное озеро. Повышение уровня озера привело к прорыву его вод через хребет в сторону Авачинского залива. В дальнейшем р. Авача размывала этот хребет и озёрный бассейн, который, постепенно сокращаясь в размерах, прекратил своё существование (рис. 1.13).

1.1.6. Карчеход и древесные заломы

В условиях своеобразной природы Камчатки карчеход и образование заломов (скопления карчей), закономерности пространственного распространения и их влияние на руслоформирующую деятельность рек отличаются определённой спецификой.

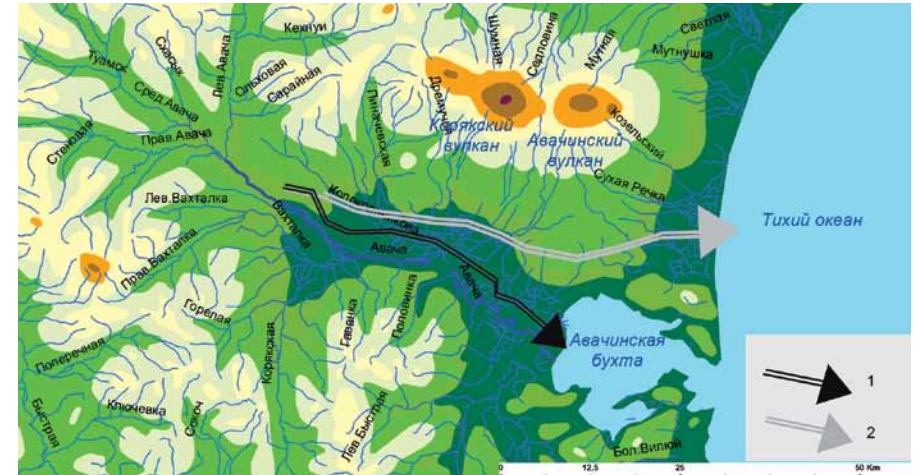


Рис. 1.13. Изменение прарусла р. Авачи в результате катастрофического извержения Авачинского вулкана (реконструкция по данным Апрелькова, 1964): 1 — современное русло р. Авачи; 2 — древнее русло р. Авачи

Заломы древесной растительности формируются в основном на реках предгорных и равнинных районов Камчатки. Необходимым условием их появления является поступление в реки стволов деревьев. Это определяется в первую очередь водностью половодья. При высоких расходах воды происходят интенсивные переформирования русла и размывы берегов в вершинах излучин, что увеличивает мощность карчехода, возникающего из-за размыва пойменных берегов на вышерасположенных участках реки и который, в свою очередь, приводит к развитию заломов древесной растительности и становится самостоятельным непредсказуемым фактором развития русла.

Наиболее высокие темпы поступления карчей в реки характерны для участков широкопойменных русел равнинных и полугорных рек. Развитие обильной пойменной растительности здесь обусловлено большим количеством биогенного вещества, поступающего в реки в процессе нереста популяций тихоокеанского лосося. Падающие с подмываемых берегов в реку деревья являются причиной карчехода; плывущие деревья скапливаются на изгибах рек, оголовках островов, на мелководьях, образуя заломы. На многих реках Камчатки заломы определяют облик русла (рис. 1.14).

Важным фактором формирования заломов являются уклоны русла, от которых зависит скорость транспорта плывущих деревьев. На горных реках с порожисто-водопадными руслами условия формирования заломов преимущественно приурочены к местам их попадания в реки. Транспорт карчей на таких реках затруднён из-за высокой шероховатости дна. На равнинных реках с уклоном менее 3% формирование заломов затруднительно из-за малого количества переносимого потоком древесного материала, который преимущественно аккумулируется выше по течению на участках перегиба продольного профиля. В этой связи образование заломов наиболее характерно для рек предгорной зоны, в условиях резкого снижения уклонов и массовой аккумуляции транспортируемого потоком материала.

Формирование заломов характеризуется их частотой, относительной площадью, представляющей собой отношение площади, занятой заломами, к площади водной акватории, $F_{\text{заломов}} / F_{\text{русла}}$, числом крупных деревьев в заломы. Многофакторность



Рис. 1.14. Характерный вид полугорного разветвленного русла камчатской реки (р. Ветвей) (фото А. В. Улатова). Выделены участки формирования заломов

процесса определяет слабую корреляцию каждого из параметров с предикторами (табл. 1.1). Умеренную корреляцию демонстрирует только связь частоты заломов с типом русловых процессов ($COR = 0,5$) и степени засоренности заломов, оцениваемой по балльной шкале (0 — залом исключительно из крупных стволов, 1 — слабая засоренность, 2 — средняя, 3 — сильная (много мелких стволов и веток)), с уклоном русла ($COR = 0,73$) [Чалов С. Р. и др., 2010а].

Таблица 1.1. Матрица корреляции параметров заломов (строки) и характеристик рек Камчатки

Характеристики Факторы	Freq, шт/км длины русла	$F_{заломов} / F_{русла}$	Число крупных деревьев	Класс залома
Тип русловых процессов	-0,5	-0,04	-0,36	-0,33
Морфодинамический тип русла	-0,18	0,04	-0,21	0,17
Порядок реки, $N_{ш}$	0,35	0,12	0,13	0,49
Уклон русла, I	-0,16	-0,1	-0,12	-0,73
Расстояние от устья, L	0,17	0,02	-0,09	0,43

Пространственное распределение заломов на реках Камчатки отражает модель множественной регрессии между характеристиками исследованных участков и частотой заломов [Есин, Чалов С.Р., 2011]. Среди различных вариантов уравнения множественной линейной регрессии наибольшая статистическая достоверность ($COR = 0,7$) получена при включении в модель характеристик типа русловых процессов (горный, полугорный, равнинный), морфодинамического типа русла (относительно прямолинейное, меандрирующее, разветвлённое), размера реки и типа растительности:

$$Freq = 2,470 + 0,4206 N_{ш} + 0,0697 I - 0,0650 Veg - 1,0950 ТРП + 0,4590 МДТР,$$

где $N_{ш}$ — порядок реки, I — уклон, Veg — тип растительной ассоциации на пойме (преобладают чозения и тополь, преобладает чозения, преобладает ива, но имеются чозения, распространены только ива и ольха), которому придано определенное целочисленное значение (1–4); ТРП и МДТР — тип русловых процессов и морфодинамический тип русла, которым также приданы целостные числовые значения (1–3). Аналогично была исследована структура заломов через степень засоренности. В наибольшей степени эта характеристика зависит от порядка и уклона реки ($COR = 0,8$):

$$Кл = 2,21 + 0,053 N_{ш} - 0,058 I - 0,006 Veg - 0,003 ТРП - 0,004 МДТР,$$

Наибольшая частота заломов отмечается на средних и крупных реках с полугорным руслом, которые распространены в предгорных и равнинных районах полуострова. Отличия сопротивлений форм русла, существующих в пределах прямолинейных, меандрирующих и разветвлённых русел, предполагает различные предпосылки образования древесных заломов. В разветвлённых руслах значение местных сопротивлений наибольшее [Чалов С.Р., 2007], и здесь наблюдается максимум формирования заломов (табл. 1.2). Наиболее характерными участками образования заломов оказываются оголовки островов, где их частота достигает максимальных значений — до 10 заломов на 100 м, и также максимальна засорённость их мелкими ветками.

Таблица 1.2. Характеристики заломов в руслах разных морфодинамических типов рек Камчатки

Тип русла	Freq, шт/км длины русла		$F_{заломов} / F_{русла}$	
	Среднее	Дисперсия	Среднее	Дисперсия
Прямолинейное	38	0,85	0,039	0,036
Меандрирующее	30,8	1,7	0,044	0,072
Разветвлённое	43,3	2,29	0,049	0,057

По данным обследования заломов, выполненного в 2005–2007 гг. на более чем 50 реках Центрально-Камчатской и Западно-Камчатской равнин, Срединного хребта и Восточного Вулканического района [Чалов С.Р. и др., 2010а], описаны характерные условия формирования заломов. Остановка одной карчи становится причиной развития залома, когда поступающие сверху с речным потоком стволы, ветки, растительные остатки цепляются за эту возникшую преграду. Можно выделить 2 типа формирования ядра залома:

1 тип. Остановка перемещаемой потоком свободной, оторванной от берега карчи или отдельного ствола. Условием развития залома является в данном случае малая глубина или ширина русла или какое-либо препятствие (естественное — выступы берегов, прибрежная растительность, излуцина, разветвление; искусственное — опора мостового перехода);

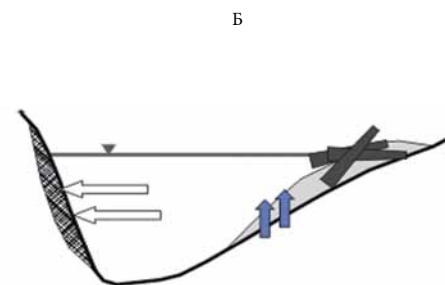
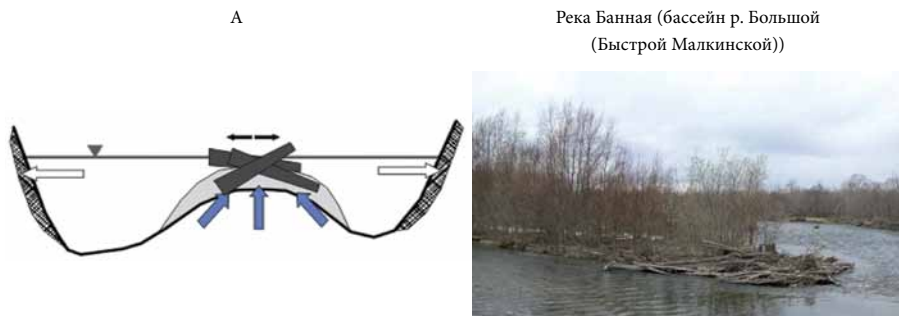
2 тип. Обрушение в русло дерева, когда часть его остаётся на берегу, а часть оказывается в русле, перегораживая его. Наиболее часто это происходит при подмыве берега речным потоком.

Условия формирования определяют специфику локализации заломов разного типа. В первом случае характерными местами остановки транспортируемой потоком карчи являются: оголовки осередков и островов; прибрежные мелководья, особенно обсыхающие в межень побочни; небольшие пойменные протоки, ширина которых оказывается меньше длины карчей. Во втором случае заломы располагаются либо у подмываемых берегов, либо у коренных крутых берегов, где деревья попадают в русло в результате развития различных склоновых процессов.

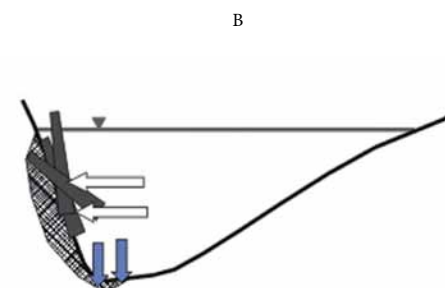
Особенности расположения заломов определяют их разную руслоформирующую роль. Формирование заломов у приверхов осередков и оголовков островов (рис. 1.15 А), с одной стороны, препятствует их размыву. В условиях набегания руслового потока на оголовок острова происходит аккумуляция материала в зоне замедления потока под заломом вследствие возникающего подпора. Часто в этом случае образуются косы. С другой стороны, развитие залома в сторону одного из рукавов одновременно приводит к перераспределению расходов воды между ними, отмиранию одного и активизации другого рукава, а отклонение заломом потока — к размывам противоположных берегов.

Для заломов у выпуклого отлогого берега (рис. 1.15 В) характерно их быстрое заиливание, так как здесь они сильно замедляют течение. Одновременное отклонение потока заломом приводит к усилению размыва противоположного берега. В широкопойменных разветвлённых руслах за счёт этого могут образовываться новые рукава, особенно в случае, если высота залома достаточна для отклонения потока высоких вод.

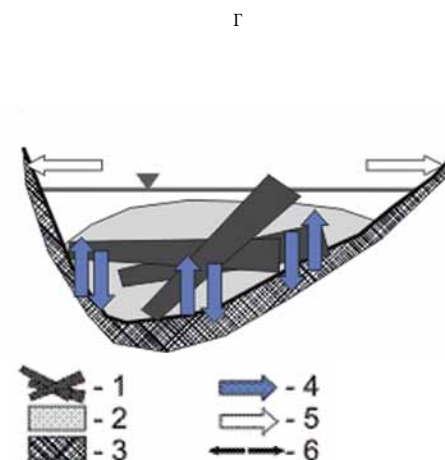
Деформации русла, обусловленные развитием залома у вогнутого подмываемого берега (рис. 1.15 В), характеризуются наибольшей интенсивностью. Развитие глубинной эрозии осуществляется непосредственно под заломом, ниже по течению формируются водовороты, наблюдаются размывы и дна, и берегов. Образование заломов у подмываемых пойменных берегов зачастую способствует появлению новых рукавов. При формировании заломов на малых реках, где размеры одной карчи соответствуют ширине русла, происходит развитие ступенчатого продольного профиля. В этих условиях небольшие рукава разветвлений могут отмирать, будучи целиком забитыми древесной растительностью (рис. 1.15 Г).



Река Кижучёнок (бассейн р. Большой Быстрой Малкинской)



Река Андриановка (бассейн р. Камчатки)



Протока р. Банной (бассейн р. Большой Быстрой Малкинской)



Рис. 1.15. Характерные типы проявлений русловых деформаций на малых и средних реках при формировании заломов (фото А. С. Чаловой): А — у приверхов осередков и оголовков островов; Б — у выпуклого берега; В — у вогнутого берега; Г — перегораживающие русла малых рек и ручьёв.

1 — положение залома в русле, 2 — область аккумуляции наносов,

3 — область размыва русла; направление развития русловых деформаций: 4 — вертикальных,

5 — горизонтальных; 6 — перераспределение расходов воды

1.2. Общая характеристика русловых процессов

Совместное влияние факторов русловых процессов определяет формирование русел различных типов на реках Камчатки. Уклоны рек являются интегральной характеристикой, обуславливающей изменение потерь энергии потока по длине реки. Совместно с водоносностью рек они определяют мощность потока и, следовательно, характер потока и тип русловых процессов (горный, полугорный, равнинный). Таким образом, русла различных типов формируются на реках разных порядков (что, по сути, отражает их водоносность) в определённых диапазонах уклонов (рис. 1.16).

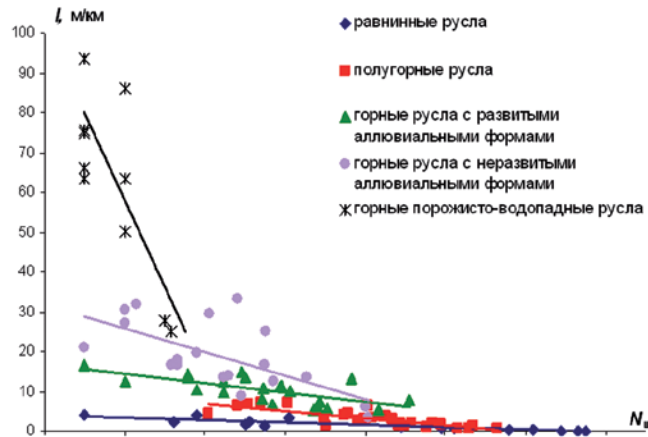


Рис. 1.16. Связь между уклонами водной поверхности (I) и порядками рек Камчатки ($N_{ш}$) для различных типов русловых процессов

Равнинные, полугорные и горные русла с развитыми аллювиальными формами распространены как на малых, так и на крупных реках полуострова, формируясь при уклонах водной поверхности менее 20‰, причём чем больше река, тем меньше соответствующие диапазоны. Горные порожисто-водопадные русла и горные русла с неразвитыми аллювиальными формами распространены преимущественно на малых реках; им соответствуют гораздо большие диапазоны уклонов [Чалов Р.С., 1979]: от 7–10 до 35‰ для русел с неразвитыми аллювиальными формами и от 25 до 95‰ (и более) для порожисто-водопадных русел.

На крупнейших реках полуострова по мере снижения уклонов наблюдается закономерная смена типов русел от горных порожисто-водопадных в самом верхнем течении до равнинных в нижнем. Однако данная закономерность зачастую нарушается, и на реках происходит более сложное чередование типов русловых процессов. Так, на р. Быстрой (Большой) полугорное русло (231–126 км от устья) сменяется горным (126–93 км от устья) при пересечении Срединного хребта, а на р. Аваче русло с развитыми аллювиальными формами (117–77 км от устья) сменяется руслом с неразвитыми формами (77–71 км от устья) в условиях стеснения речной долины горными хребтами. В обоих случаях происходит увеличение количества и крупности поступающего в поток обломочного материала и значительное возрастание уклонов русла (в 2–3 раза).

На больших реках, протекающих преимущественно в предгорьях и на равнинах, максимальное распространение характерно для равнинных (89% на р. Камчатке) либо

полугорных (81% на р. Большой (Быстрой Малкинской)) русел (табл. 1.3). На реках меньшего размера, которые на значительном протяжении протекают в горных районах, возрастает относительная протяжённость горных русел (50% на р. Аваче, 62% на р. Банной). Отсутствие горных порожисто-водопадных русел или русел с неразвитыми аллювиальными формами на некоторых реках связано с тем, что они берут начало из озёр и даже в самом верхнем течении протекают по широкой межгорной котловине, имея малые уклоны, полугорное или равнинное русло (р. Плотникова).

Таблица 1.3. Протяжённость (км) и распространение (%) русел с различными типами русловых процессов для некоторых рек Камчатки [Ермакова, 2009б]

Тип русловых процессов		Горный, 1*	Горный, 2*	Горный, 3*	Полугорный	Равнинный		
Река, порядок реки ($N_{ш}$)	Камчатка	13,6	км	3	8	11	61,0	675
			%	0,4	1,1	1,4	8,0	89,1
	Быстрая Эссовская (бассейн р. Камчатки)	10,1	км	2,3	28,5	24,6	98,6	–
			%	1,5	18,5	16,0	64,0	0,0
	Авача	10,9	км	–	11	49	38,0	24
			%	0	9,0	40,2	31,1	19,7
	Вывенка	12,8	км	–	–	–	190,0	205
			%	0	0	0	48,1	51,9
	Большая (Быстрая)	12	км	3	27	6	206,0	13
			%	1,2	10,6	2,3	80,8	5,1
	Плотникова (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской))	10,2	км	–	59	5	61,0	9
			%	0	44	3,8	45,5	6,7
Карымчина (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской))	8,9	км	9	28	1,5	54,5	–	
		%	9,7	30,1	1,6	58,6	0	
Банная (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской))	7,6	км	4	30,0	–	21,0	–	
		%	7,3	54,5	0	38,2	0	

* Русла, соответствующие горному типу русловых процессов: 1 — порожисто-водопадные; 2 — с неразвитыми аллювиальными формами; 3 — с развитыми аллювиальными формами

Сочетания типов русловых процессов и условий развития русловых деформаций определяют развитие на Камчатке двадцати разновидностей морфодинамических типов русел, десять из которых формируется в горных районах, десять — в равнинных (табл. 1.4) [Ермакова, 2009б].

Таблица 1.4. Типизация русел рек Камчатки

Район	Тип руслового процесса*	Тип русла по условиям развития русловых деформаций	Морфодинамический тип русла	
Горный	ПВ	Врезанный	Прямолинейное русло, врезанные излучины	
		НрАФ	Врезанный	Прямолинейное русло, врезанные излучины
	Адаптированный		Прямолинейное русло, вынужденные и адаптированные излучины	
	РАФ	Адаптированный	Одиночные русловые разветвления	
			Прямолинейное русло, чередующееся с вынужденными и адаптированными излучинами и одиночными русловыми разветвлениями	
		Широкопойменный	Осерёдковые разветвления (блуждающее русло)	
			Свободные излучины	
	Равнинный	Врезанный	Пойменные и русловые разветвления	
			Осерёдковые разветвления (блуждающее русло)	
			Прямолинейное русло, врезанные излучины	
Равнинный	РАФ	Свободные излучины		
		Широкопойменный	Пойменные и русловые разветвления	
			Осерёдковые разветвления (блуждающее русло)	
	Полугорный	Адаптированный	Прямолинейное русло, чередующееся с вынужденными и адаптированными излучинами и одиночными русловыми разветвлениями	
			Свободные излучины	
		Широкопойменный	Пойменные и русловые разветвления	
			Осерёдковые разветвления (блуждающее русло)	
	Равнинный	Адаптированный	Прямолинейное русло, чередующееся с вынужденными и адаптированными излучинами и одиночными русловыми разветвлениями	
			Широкопойменный	Свободные излучины
				Пойменные и русловые разветвления

* Горный тип русловых процессов: ПВ — порожисто-водопадные русла, НрАФ — русла с неразвитыми аллювиальными формами, РАФ — русла с развитыми аллювиальными формами

Почти половина всех рек Камчатки (48,8%) — горные, что соответствует преобладанию горного рельефа на полуострове. На долю равнинных русел приходится немного более 10%.

Наиболее распространены меандрирующие русла, свойственные всем типам рек. В горных районах значительна доля прямолинейных русел, что объясняется

ограниченными условиями развития русловых деформаций. На полугорных реках помимо меандрирующих русел широко распространены пойменно-руслые разветвления, которые формируются на крупных реках полуострова в предгорных и равнинных районах (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Распространённость (%) морфодинамических типов русел в пределах геоморфологических районов и в целом по полуострову Камчатка [Ермакова, 2009б]

Морфодинамический тип русла	Геоморфологический район*				В целом по полуострову
	1	2	3	4	
Горные реки					
Прямолинейные русла, чередующиеся с врезанными, вынужденными и адаптированными излучинами	27,3	24,7	1,50	15,1	18,3
Меандрирующие русла	33,7	30,8	3,11	19,0	23,1
Пойменные и русловые разветвления	6,79	6,55	1,86	4,42	5,11
Осерёдковые разветвления (блуждающие русла лахаровых долин)	0,33	12,3	0,71	0,00	2,28
Полугорные реки					
Меандрирующие русла	19,8	12,0	37,3	32,5	24,9
Прямолинейные русла, чередующиеся с вынужденными и адаптированными излучинами и одиночными русловыми разветвлениями	2,23	1,65	2,34	2,18	2,16
Пойменные и русловые разветвления	9,07	9,94	18,6	12,4	12,2
Осерёдковые разветвления (блуждающие русла вулканических рек)	0,00	0,23	0,13	0,00	0,07
Равнинные реки					
Меандрирующие русла	0,60	1,75	31,7	12,6	10,8
Пойменные и русловые разветвления	0,01	0,15	2,34	1,08	0,80
Прямолинейные русла, чередующиеся с вынужденными и адаптированными излучинами и одиночными русловыми разветвлениями	0,13	0,00	0,48	0,68	0,27

*Геоморфологический район: 1 — Горный (Срединный и Восточный хребты); 2 — Вулканический (Восточный вулканический район); 3 — Равнинный (Западно-Камчатская и Центрально-Камчатская равнины); 4 — Восточный Приморский район

На долю блуждающих русел лахаровых долин приходится менее 2,5%. Столь малая их доля связана с тем, что лахаровые долины формируются исключительно в пределах конусов и подножий действующих вулканов, которые по отношению к площади всего полуострова имеют ограниченное распространение. Наблюдается пространственная локализация лахаровых отложений и их приуроченность непосредственно к подножиям вулканов. В результате реки, стекающие с вулканов,

последовательно образуют порожиисто-водопадные горные русла в верхнем течении и блуждающие русла в пределах лахаровых долин [Чалов С.Р. и др., 2010б]. Ниже по течению участки речной сети отличаются влиянием повышенного стока наносов пирогенного происхождения. Например, на р. Сухой Елизовской выделяются три участка (рис. 1.17). Участок I занимает район от истока (высоко в нивальной зоне) до высоты 1000–1200 м и характеризуется хорошо выраженной, узкой, глубоко врезанной V-образной долиной с сильными уклонами; наибольший эрозионный врез (10–20 м) долина имеет в истоках на высотах 1500–2500 м. Участок II расположен между высотами от 1000–1200 до 600–800 м непосредственно на лахаровой долине, врез долины и уклоны несколько меньше, форма не трапецеидальная, русло хорошо выражено, высота берегов 3–4 м, видна чёткая граница между соседними водосборами. Участок III расположен ниже высоты 600–800 м. В этой зоне происходит резкое выполаживание продольного профиля, сухие реки теряют способность формировать собственное русло, растекаются по общему конусу выноса, теряясь в рыхлых отложениях.

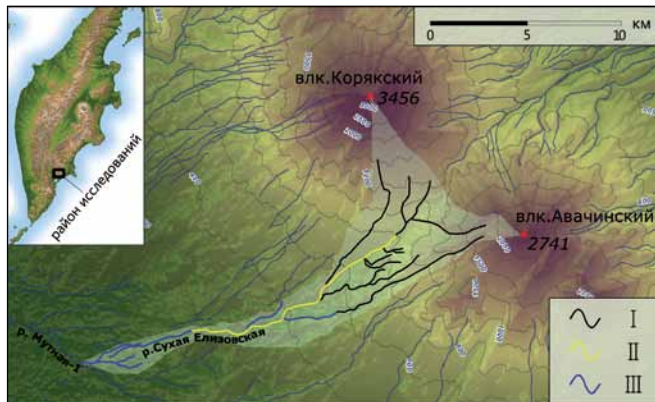


Рис. 1.17. Деление долины р. Сухой Елизовской на зоны: I — зона формирования стока, V-образная долина, горные русла; II — лахаровая долина, осередковые разветвлённые русла; III — русловая сеть низменных территорий

Чёткая смена типов русел прослеживается также по высотным зонам: от 0 до 200 м преобладают полугорные меандрирующие русла, от 200 до 500 м — горные меандрирующие, от 500 до 1500 м — горные прямолинейные и меандрирующие, выше 1500 м — горные прямолинейные русла.

Совокупность природных факторов, важнейшими из которых являются контрастный рельеф полуострова и значительный сток воды, обуславливает сложное чередование типов русловых процессов, условий развития речных русел и смену одних морфодинамических типов русел другими.

1.2.1. Морфодинамические типы русел горных рек

Горные русла формируются на реках горных районов полуострова с уклонами $I > 7-8\%$. Поэтому они в основном характерны для небольших рек (порядок рек по Шайдеггеру [Schideggaer, 1965] $N_{ш} < 6-7$). В самых верховьях формируются порожиисто-водопадные русла, которые вниз по течению сменяются горными руслами

с неразвитыми, а затем с развитыми аллювиальными формами. Как правило, малые реки ($N_{ш} < 6-7$), впадающие в более крупные в пределах горных районов и даже межгорных впадин, вплоть до самого устья имеют горное русло. Однако горные русла встречаются также на относительно больших реках ($N_{ш} = 7,5-10$) на участках стеснения их долин горными хребтами или их отрогами. Таковы р. Быстрая Малкинская (Большая) при пересечении Срединного хребта, р. Быстрая Эссовская в среднем течении, р. Авача ниже слияния Правой,левой и Средней Авачи, р. Плотникова в среднем течении. В этом случае горные русла соответствуют перегибам продольного профиля рек — участкам с большими уклонами по сравнению с выше- и нижележащими участками, причём в отдельных случаях наблюдается изменение уклонов в несколько раз (на р. Аваче — от 4 до 11%).

Реки горных районов с максимальными перепадами высот соответствуют верхним звеньям речной сети и имеют *горное порожиисто-водопадное русло* (рис. 1.18). Для них характерно чередование порогов и водопадов с застойными зонами между ними и в эрозионных котлах. Они формируются в результате специфических условий транспорта крупных обломков. Уклоны таких русел превышают 30%. Протяжённость порожиисто-водопадных русел составляет от нескольких процентов всей длины реки (р. Начилова — 7%) до 100% (небольшие речки и ручьи, на всём своём протяжении протекающие в пределах горных районов, имеющих большие уклоны). Ограниченные условия развития русловых деформаций, а также большая крупность руслообразующих наносов обуславливают высокую устойчивость таких русел. Интенсивность русловых деформаций минимальна, скорости смещения берегов практически равны 0.



Рис. 1.18. Порожиисто-водопадное русло (р. Половинка, бассейн р. Авачи) (фото Е. Золотина)

Постепенному снижению уклонов рек при переходе от высокогорий к низкогорьям соответствует смена порожиисто-водопадных русел на *горные русла с неразвитыми аллювиальными формами* (рис. 1.19 А). Они распространены в основном в среднем течении небольших горных рек.

Уклоны русел колеблются от 15–35‰ на малых реках до 5–10‰ на средних. Высокая мощность потока обуславливает прямолинейную форму русла, чередующуюся с врезанными либо вынужденными излучинами и русловыми разветвлениями, связанными с делением потока на ветви течения островом или группой островов; встречаются участки точечной разветвленности. Русла этого типа обычно занимают всё дно долины, лишь изредка имея узкую пойму. Так же как и порожиисто-водопадные, они характеризуются повышенной устойчивостью, интенсивность горизонтальных деформаций их невелика, скорости смещения берегов не превышают 0,1 м/год.

Чередование горных хребтов и равнин зачастую обуславливает соответствующие изменения типов русел. Некоторые относительно крупные реки при пересечении горных хребтов или стеснении долин их отрогами оказываются в условиях ограниченного развития русловых деформаций и имеют горное русло с неразвитыми аллювиальными формами. Уклоны русла возрастают в 2–3 раза по сравнению с вышележащими участками, достигая 3–10‰ в зависимости от размера реки. К таковым относится участок р. Быстрой (Большой) при пересечении Срединного хребта ($N_{\text{ш}} = 9,5$), р. Плотниковой в среднем течении ($N_{\text{ш}} = 7,5$), участок р. Быстрой Эссовской в нижнем течении ($N_{\text{ш}} = 10$), именуемый «Райскими воротами» (рис. 1.19 Б).



Рис. 1.19. Горное русло с неразвитыми аллювиальными формами в ограниченных условиях развития русловых деформаций: А — р. Халзан (бассейн р. Плотниковой), $N_{\text{ш}} = 5$; Б — р. Быстрая Эссовская, «Райские ворота», $N_{\text{ш}} = 10$ (фото А. С. Чаловой)

Снижение уклонов рек в областях низкогорного рельефа и в предгорьях обуславливают формирование *горных русел с развитыми аллювиальными формами*. Их главным отличием от вышележащих участков является дифференциация профиля дна русла на плёсы и перекаты, наличие обсыхающих в межень побочных и осередков, отражающих образование гряд как форм их перемещения. Русла с развитыми аллювиальными формами распространены на реках с уклонами от 5 до 20 ‰ в зависимости от их размера.

Основным морфодинамическим типом русел с развитыми аллювиальными формами является меандрирующее русло, несколько меньше распространены разветвления. Меандрирующие русла более характерны для среднего течения рек горных и предгорных районов, водоносность которых невелика, а уклоны значительны. Разветвлённые русла распространены в нижнем течении малых и средних рек ($N_{\text{ш}} = 4-9$) при выходе их в предгорные районы либо в долины более

крупных рек. Причиной рассредоточения потока по рукавам и формирования пойменных (рис. 1.20А) и русловых разветвлений (рис. 1.20Б) является увеличение водоносности рек и переход к свободным условиям развития русловых деформаций на фоне довольно резкого уменьшения уклонов (от 35–10 до 15–5 ‰).



Рис. 1.20. Горное русло с развитыми аллювиальными формами: А — пойменные разветвления, приток р. Быстрой (Большой); Б — осередковые (1) и русловые (2) разветвления, р. Начилова в среднем течении (фото С.Р. Чалова)

Для горных рек с развитыми аллювиальными формами характерно наличие в русле большого количества заломов. Это связано с выходом рек в лесную область, увеличением их размеров и повышением интенсивности размывов берегов. Наиболее крупные заломы, как правило, приурочены к узлам слияния и деления рукавов. Они являются фактором дополнительных русловых переформирований, обуславливают развитие одних и отмирание других рукавов. Кроме того, сезонные колебания водности рек являются причиной изменения структуры разветвлений: в меженный период происходит развитие осередковых разветвлений, но обсыхают некоторые пойменные протоки; в периоды повышенной водности, напротив, утрачивается осередковая многорукавность, но усложняется структура пойменных разветвлений благодаря обводнению ранее обсохших пойменных рукавов и проток. Меньшая крупность руслообразующих наносов по сравнению с предыдущими морфодинамическими типами русел способствует увеличению темпов русловых деформаций и снижению устойчивости русел.

Блуждающие русла лахаровых долин соответствуют абсолютно неустойчивому типу. Поток формируется в толще легкоразмываемых отложений, что определяет его распластанность (блуждание) и формирование осередкой многорукавности, которая отличается максимальной временной изменчивостью природной структуры речной сети [Алексеевский, Чалов С.Р., 2009] (рис. 1.21). Водный поток может формировать здесь абсолютно новое русло в течение нескольких минут. Неустойчивость русел увеличивает прохождение гиперконцентрированных потоков и их фильтрацию в рыхлые отложения.



Рис. 1.21. Осередковые разветвления (блуждающие русла лахаровых долин) (р. Сухая Елизовская)
(фото Е. В. Есина)

1.2.2. Морфодинамические типы русел полугорных рек

Предгорья и равнины характеризуются распространением полугорных рек со спокойным течением в межень и бурным в фазы повышенной водности. На большинстве рек Камчатки полугорные русла формируются в пограничных зонах между горными районами и межгорными впадинами и приморскими низменностями в местах перегибов продольного профиля и распространяются ниже по течению на значительные расстояния благодаря относительно высоким уклонам территории даже в пределах равнин. Даже относительно крупные реки ($N_{III} > 8$) остаются полугорными почти до самого устья. К ним относятся среднее и нижнее течение (за исключением последних 10–15 км) многих крупнейших рек Камчатки — р. Быстрой (Большой), р. Авача, р. Ича, р. Тигиль, р. Крутогоровой, р. Хайрюзова, р. Плотникова, р. Карымчина и др.

Полугорные русла формируются в предгорных районах в условиях наиболее резкого перегиба продольного профиля, значительных расширений речных долин и интенсивного поступления обломочного материала из верхних звеньев речной сети. Полугорные русла распространены на реках с уклонами от 7 до 0,5‰ в зависимости от размеров рек. Для них в основном характерна направленная аккумуляция наносов, поступающих из горных районов. Отдельные участки врезания полугорных рек соответствуют пересечениям ими крупных горных хребтов.

На полугорных реках формируются меандрирующие либо разветвлённые русла, сочетающие, как правило, русловые и пойменные разветвления (рис. 1.22). Пойменные разветвления формируются в основном на больших реках в условиях максимальной мощности потока. В отличие от горных рек с развитыми аллювиальными формами разветвления полугорных рек в основном характерны для средних и больших рек. Соответственно разветвления полугорных рек отличаются большими размерами островов и пойменных массивов (до нескольких километров) между рукавами; структура разветвлений усложняется, возрастает число узлов слияния и деления потока.



Рис. 1.22. Полугорное разветвлённое русло (р. Плотникова в среднем течении) (фото А. С. Чаловой)

Разветвления полугорных русел крайне сложны и динамичны, обладают наименьшей устойчивостью. При этом в течение одного сезона они могут существенно меняться за счёт развития одних рукавов и отмирания других.

Формирование сильно разветвлённых русел начинается при выходе рек в предгорные районы со свободными условиями развития русловых деформаций. С одной стороны, резкое снижение уклонов рек обуславливает остановку транспортируемого потоком материала, его массовую аккумуляцию непосредственно в русле и, следовательно, образование осередков и при их зарастании русловых разветвлений. С другой стороны, свободные условия руслоформирования на реках с невысокой, часто затопляемой поймой способствуют образованию пойменных протоков в периоды повышенной водности и развитию пойменных разветвлений. На отдельных участках реки подходят к коренным склонам долины. В этих случаях русловые деформации контролируются ими, а русла становятся адаптированными (рис. 1.23).



Рис. 1.23. Адаптированное разветвлённое полугорное русло (р. Авача ниже с. Коряки) (фото А. С. Чаловой)

Число рукавов и проток в структуре пойменных и русловых разветвлений увеличивается по мере увеличения размера реки. Так, на р. Быстрой Малкинской (Большой) ($N_{ш} = 9,8$) в нижнем течении выделяется до 7–8 крупных рукавов и проток и 10–15 пойменных проток, которые формируют густую сеть, расчленяющую пойменные островные массивы; количество крупнейших по ширине пойменных проток достигает 10–12 [Алексеевский, Чалов С.Р., 2009].

На небольших полугорных реках, а также в среднем течении самых крупных рек Камчатки наиболее распространены свободно меандрирующие русла. Они формируются на реках с меньшей водоносностью, чем реки с пойменными и русловыми разветвлениями. Протяжённость участков меандрирующего полугорного русла на некоторых средних реках полуострова достигает 50 % от их длины: например, на р. Быстрой Эссовской — 45% длины реки.

Меандрирующее русло представляет собой, как правило, серии излучин, развивающиеся в свободных условиях руслоформирования. Сильная залесённость поймы вместе с густой травянисто-кустарниковой растительностью препятствует спрямлению излучин, в результате чего последние достигают высоких значений степени развитости (показатель l/L 4–5, где l — длина, L — шаг излучины). В каждой серии происходит постепенное увеличение степени развитости излучин от верхней к нижней: на участке 14–11 км от устья р. Гольцовки в бассейне р. Быстрой (Большой) l/L возрастает от 1,6 до 4,0 от верхней до нижней излучины в отдельной серии. Таким образом, наиболее крутые излучины располагаются в конце каждой серии. Наблюдается также тенденция увеличения параметров излучин вниз по течению, что соответствует увеличению водоносности реки в этом направлении (табл. 1.6).

Таблица 1.6. Изменение параметров излучин полугорной реки в соответствии с водоносностью р. Гольцовка (бассейн р. Быстрой Малкинской (Большой))

Км от устья	Порядок реки ($N_{ш}$)	Параметры излучин, м			
		длина (l)	шаг (L)	радиус кривизны (r)	стрела прогиба (h)
27–22	7,2	240	132	170	180
14–11	7,7	350	160	180	200
5–2	8,6	445	261	230	250

1.2.3. Морфодинамические типы русел равнинных рек

Равнинные русла, характеризующиеся спокойным течением во все фазы водного режима (число Фруда $Fr = \frac{V^2}{gh} < 0,1$, где V — скорость течения, h — глубина русла,

g — ускорение свободного падения), распространены преимущественно на малых реках ($N_{ш} < 6$) либо в низовьях крупных рек ($N_{ш} > 9$), которые на значительном протяжении протекают по равнинам. Они соответствуют наиболее пологим участкам продольного профиля; уклоны не превышают 4 ‰ на малых и 0,5 ‰ на больших реках.

К малым равнинным рекам (рис. 1.24) относятся реки, берущие начало в низкогорных и предгорных районах Срединного хребта и быстро попадающие на приморские равнины или широкие межгорные котловины. В основном это притоки средних и больших рек Западно-Камчатской равнины в пределах высотной зоны 0–200 м, некоторые малые притоки р. Камчатки на Центрально-Камчатской равнине.



Рис. 1.24. Равнинное меандрирующее русло малой реки (р. Первая Красная, бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской)) (фото Е.В. Есина)

Вследствие малой водоносности русла таких рек при резком снижении уклонов быстро становятся равнинными.

Реки большего размера ($N_{ш} > 6$), стекающие с горных склонов Срединного и Восточного хребтов и имеющие небольшую протяжённость в пределах равнинных районов (не более 200 км), приобретают равнинный характер лишь в самых низовьях.

Кроме региональных закономерностей распространения равнинных рек местные особенности рельефа обуславливают их существование в других геоморфологических районах. Таковы, например, широкие межгорные котловины, в которых расположены крупные озёра — Нерпичье в бассейне р. Камчатки, Толмачёва и Начикинское в бассейне р. Быстрой Малкинской (Большой). Притоки озёр в нижнем течении на приустьевых участках, а также вытекающие из них реки на протяжении первых 5–10 км от истока имеют равнинные русла.

Некоторые малые реки протекают целиком в пределах Западно-Камчатской равнины и имеют равнинное русло на всём своём протяжении. Зачастую их бассейны располагаются на низменных участках с высокой озёрностью и заболоченностью. В этих условиях формируются русла *болотного типа*. К таковым относятся, например, р. Микочева и её притоки, верхнее течение р. Амчигачи (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской)). Эти реки отличаются очень малыми уклонами водной поверхности ($I \rightarrow 0$) и отсутствием течения ($V = 0$) в межень (рис. 1.25 А), высокой стабильностью русла, заиленностью русловых отложений и отсутствием форм руслового рельефа. Русло отличается постоянством по длине реки морфологических характеристик (для р. Микочевой ширина — 10–15 м, максимальная глубина — около 2 м), извилистостью; берега покрыты растительностью. Малая транспортирующая способность болотных рек, обусловленная низкими скоростями течения, приводит к заилению русла: слой илистых отложений на дне по всей ширине русла не менее 5–10 см. Лишь в период повышенной водности уклон реки возрастает, появляется течение (рис. 1.25 Б), тогда активизируются процессы размыва берегов, происходит плавное развитие излучин, о чём свидетельствует довольно сильная извилистость русла.



Рис. 1.25. Болотное русло р. Микочевой (бассейн р. Быстрой (Большой)): А — в межень; Б — в половодье (фото С.Р. Чалова)

Средние и большие реки вследствие значительных уклонов территории, по которой они протекают, в большинстве своём имеют русла равнинного типа лишь в самом нижнем течении. Только на крупнейших реках Камчатского края (рис. 1.26) равнинные русла имеют значительную протяжённость. Река Камчатка на протяжении около 600 км течёт по Центрально-Камчатской равнине; её русло становится равнинным в районе с. Верхне-Камчатск (590 км от устья, при общей длине реки 758 км). Река Вывенка стекает со склонов Корякского хребта и становится равнинной несколько выше устья крупнейшего притока — р. Тылговаям (191 км от устья, при общей длине реки 395 км). Основным морфодинамическим типом на равнинных реках является свободное меандрирование (рис. 1.26 Б). На р. Камчатке протяжённость участков меандрирующего равнинного русла составляет 524 км (69,1% длины реки).



Рис. 1.26. Крупнейшие равнинные меандрирующие реки Камчатки: А — р. Камчатка у с. Долиновка, Б — р. Вывенка в среднем течении (фото А. С. Чаловой)

На участках меандрирующего русла встречаются излучины от пологих сегментных ($l/L < 1,4$) до крутых омеговидных ($l/L > 2,0$). В пределах каждой серии степень развитости излучин, как и на полугорных реках, возрастает вниз по течению (табл. 1.7), что соответствует общим представлениям о развитии излучин [Чалов Р.С., 2008]. Наиболее высокие показатели степени развитости излучин характерны для рек

Таблица 1.7. Изменение параметров излучин в пределах одной серии (р. Камчатка)

№ излучины в серии	Длина l , м	Шаг L , м	Стрела прогиба h , м	Радиус кривизны r , м	Степень развитости l/L	Показатель формы r/h
1	1600	1300	400	600	1,23	1,50
2	1800	1100	900	950	1,64	1,06
3	2100	800	1100	950	2,63	0,86
4	2700	1100	1000	900	2,45	0,90
5	2500	700	1200	750	3,57	0,63

с высокими, редко затопляемыми поймами либо в условиях распространения густой пойменной растительности. Оба этих условия препятствуют образованию спрямлений при прохождении высоких расходов воды; излучины постепенно искривляются, достигая стадии петлеобразных или синусоидальных, спрямление которых происходит путём встречного размыва берегов на их крыльях.

Постепенное увеличение водоносности рек вниз по течению находит отражение в увеличении средних значений параметров излучин (табл. 1.8).

Таблица 1.8. Изменение средних значений параметров излучин по длине р. Камчатки

Участок	Параметры излучин, м				Порядок реки N_m
	Длина, l	Шаг, L	Радиус кривизны, r	Стрела прогиба, h	
Выше устья р. Кирганик	1650	1050	660	650	10,6
с. Долиновка	1850	1000	670	670	11,6
с. Лазо	1900	1050	670	690	12,2
с. Козыревск	2390	1210	730	850	12,9

Гораздо меньше распространены на равнинных реках Камчатки разветвлённые и прямолинейные русла. Последние формируются в основном в переходных или ограниченных условиях развития русловых деформаций на участках стеснения речных долин горными хребтами. Прямолинейное врезанное русло имеет р. Камчатка при пересечении хребта Кумроч (64–38 км от устья), р. Хайрюзова, Белоголовая и Напана (крупнейший приток р. Тигиля) в нижнем течении, на участках, где русла рек проходят у коренных склонов долины.

Малая протяжённость пойменных и русловых разветвлений на равнинных реках связана прежде всего со спецификой распространения равнинных русел в целом. Последние преобладают на малых реках полуострова, мощность которых недостаточна для формирования разветвлений.

На крупнейшей равнинной реке, Камчатке, на долю разветвлённых русел приходится всего порядка 15% длины реки. Развитие пойменных разветвлений в среднем и нижнем течении ограничивается особенностями формирования и функционирования пойменного потока в период повышенной водности. На одних участках расходы высоких паводков и половодья проходят в бровках поймы, что не способствует формированию пойменных проток (р. Камчатка — с. Лазо). На других —

поток, растекаясь по широкой, до нескольких километров, пойме, имеет очень малую глубину (р. Камчатка — с. Долиновка, п. Козыревск). Значительные препятствия для работы пойменного потока создаёт густая пойменная растительность.

Кроме р. Камчатки равнинные русла встречаются на некоторых больших реках ($N_{ш} > 9$), стекающих с западных склонов Срединного хребта и протекающих в нижнем течении по Западно-Камчатской равнине (р. Хайрюзова, Белоголовая, Морошечная, Сопочная, Облуковина). Значительные уклоны (0,3–0,5‰ в устье) и высокая мощность потока этих рек обуславливают формирования разветвлённых русел.

1.3. Устойчивость русел рек и русловые деформации

Взаимодействия в системе поток–русло и перемещение речных наносов лежат в основе русловых деформаций, изменяющих формы русла и руслового рельефа. В зависимости от направленности развития русловых деформаций различают вертикальные и горизонтальные деформации. Специфика распространения факторов руслоформирования и морфодинамических типов русла определяет распространение тех или иных форм и типов развития русел. При определённом сочетании природных факторов на Камчатке формируются реки с экстремальными темпами русловых деформаций. Установленные темпы и формы опасных проявлений русловых процессов и соответствующие рекомендации для их предотвращения необходимо учитывать при организации любой хозяйственной деятельности в долинах рек.

1.3.1. Вертикальные русловые деформации

Отражением особенностей проявления вертикальных деформаций является форма продольного профиля и распределение частных уклонов по длине рек. Врезание реки на конкретном её участке приводит к понижению отметок дна и водной поверхности и соответственно уменьшению продольного уклона. Аккумуляция наносов, наоборот, ведёт к повышению отметок дна русла и подъём уровня воды в реке, вследствие чего уклон её по сравнению с нижележащими участками возрастает.

Формирование продольных профилей рек в условиях восходящего развития рельефа, сопровождающегося глубинной эрозией (врезанием рек), характерно для большинства горных районов. В горных районах (Срединный и Восточный хребты, вулканические районы Камчатки) русла больших и средних рек на значительном протяжении интенсивно врезаются. В то же время для их притоков возможна аккумуляция наносов, обусловленная подпорными явлениями со стороны главной реки, связанными с различиями в водности сливающихся рек (притоки находятся в подпоре в периоды, когда по ним проходит руслоформирующие расход воды Q_{Φ}). В предгорьях и на равнинах (Западно-Камчатская и Центрально-Камчатская равнины) наблюдается чередование участков врезания и систематической направленной аккумуляции наносов, что связано с изменениями по длине реки транспортирующей способности потока, возникающими вследствие пересечения реками крупных орографических структур и чередования участков сосредоточения и растекания потока.

Для оценки направленности и величины вертикальных деформаций используются кривые связи уровней и расходов воды $Q = f(H)$ за многолетний период по гидрологическим постам, расположенным на реках в разных геоморфологических районах полуострова. Смещение кривых на графиках связи от года к году вверх или вниз позволяет судить соответственно о накоплении аллювия и повышении дна реки (рис. 1.27 А) или о его размыве (рис. 1.27 Б).

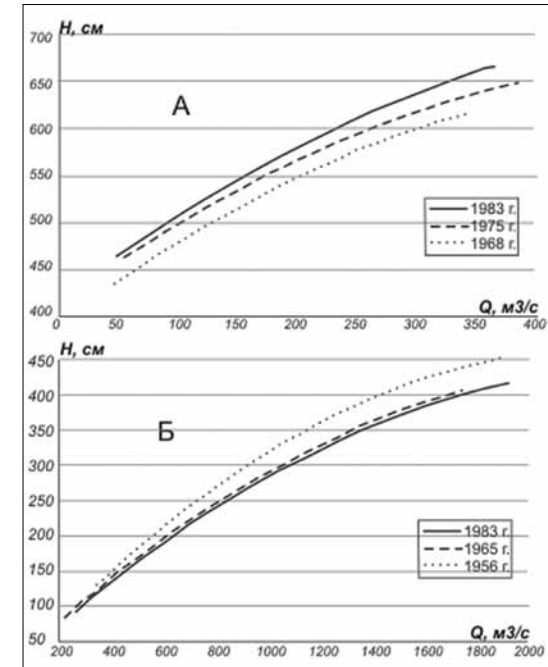


Рис. 1.27. Кривые связи расходов и уровней воды, отражающие: А — аккумуляцию (р. Камчатка — с. Верхне-Камчатск), Б — врезание (р. Камчатка — с. Козыревск)

По величине изменения уровня при одном и том же расходе воды можно количественно оценить интенсивность процессов аккумуляции или врезания реки в конкретном створе (табл. 1.9).

Для нижнего течения большинства рек Камчатки в условиях современного опускания приморских равнин и их устьевого удлинения характерна аккумуляция наносов, распространяющаяся регрессивно от устья вверх по течению (р. Тигиль — с. Тигиль, р. Большая Воровская — с. Соболево). Вертикальные деформации в нижнем течении притоков определяются состоянием главной реки, которая является базисом эрозии по отношению к ним: реки Правая Камчатка, Кавыча, Кирганик — притоки р. Камчатка; р. Уксичан — приток р. Быстрой Эссовской, р. Ключёвка — приток р. Быстрой Малкинской (Большой), р. Туамок — приток р. Авачи.

Аккумуляция наносов наблюдается на реках при подходе их к крупным положительным орографическим структурам, испытывающим тектоническое поднятие. Они служат местными базисами эрозии. Темпы врезания русел в пределах хребтов, сложенных прочными горными породами, становятся замедленными, а сами тектонические поднятия хребтов и общее сужение дна долины в их пределах оказывают подпорное воздействие на участки рек выше по течению. В результате выше хребтов идёт аккумуляция наносов: р. Быстрая — с. Малки; р. Авача — з. Дьяконова (среднее течение).

Накопление наносов характерно также для рек, протекающих в вулканических районах в условиях поступления большого количества обломочного материала в русло (р. Толбачик — с. Толбачик).

Таблица 1.9. Интенсивность вертикальных русловых деформаций на реках Камчатки (по кривым связи расходов и уровней воды)

Река — пост	Бассейн реки (моря, океана)	Скорость врезания (-) / аккумуляции (+), см/год	Тип русла
Камчатка — с. Пушино	Тихий океан	1,02	Полугорное
Камчатка — с. Верхне-Камчатск		1,93	Равнинное
Камчатка — с. Долиновка		-1,45	Равнинное
Камчатка — с. Козыревск		-1,7	Равнинное
Камчатка — с. Ключи		0,2	Равнинное
Камчатка — с. Большие Щёки		-2,5	Равнинное
Правая Камчатка — ур. Бутры	р. Камчатка	0,2	Горное, 1*
Кавыча — ур. Шаромский мыс		6	Горное, 1
Кирганик — с. Кирганик		2,8	Полугорное
Шапина — с. Шапино		-1,1	Полугорное
Толбачик — с. Толбачик		0,84	Горное, 1
Быстрая — с. Эссо		-0,7	Горное, 2*
Уксичан — с. Эссо		0,44	Горное, 1
Быстрая — с. Малки	р. Большая (Быстрая Малкинская)	0,23	Полугорное
Ключёвка — с. Малки		0,67	Полугорное
Плотникова — пос. Дальний		0,22	Горное
Банная — пост № 2		-0,86	Горное
Начилова — с. Карымай		0,17	Равнинное
Авача — з. Дьяконова	Тихий океан	0,63	Полугорное
Авача — г. Елизово		-2,25	Полугорное
Туамок — 3 км от устья	р. Авача	0,6	Горное, 2
Большая Воровская — с. Соболево	Охотское море	2,22	Равнинное
Средняя Воровская — ур. Ашово	р. Большая Воровская	-1,83	Полугорное
Тигиль — с. Тигиль	Охотское море	0,55	Полугорное

* Типы горного русла: 1 — с развитыми аллювиальными и 2 — с неразвитыми аллювиальными формами

Врезание рек наиболее характерно для горных районов (р. Быстрая — с. Эссо, р. Шапина — с. Шапино, р. Банная — пост № 2), для участков, где реки прорезают горные хребты (р. Камчатка — ур. Большие Щёки), для рек, испытывающих дефицит наносов в потоке из-за их аккумуляции выше по течению (р. Камчатка — с. Долиновка).

1.3.2. Горизонтальные русловые деформации

Наиболее опасной формой проявления русловых процессов являются горизонтальные деформации, в том числе размывы берегов под влиянием водного потока. Смена типов русловых процессов и условий формирования речных русел, разнообразие морфодинамических типов русел отражается в особенностях развития горизонтальных русловых деформаций. Интенсивность изменений руслового рельефа и очертаний

русел, скорости развития излучин и трансформации русловых разветвлений определяется устойчивостью русла, которая, в свою очередь, зависит от крупности наносов, слагающих речное ложе, и их сопротивляемости размыву. При снижении устойчивости русел происходит активизация изменений их положения на дне долины, что, в свою очередь, является фактором поступления большого количества твёрдого материала в реки. Высокая интенсивность горизонтальных деформаций приводит также к увеличению содержания взвешенных частиц в потоке и доли мелких фракций в составе руслообразующих наносов.

Возможности прогноза развития русловых деформаций зависят от метода объективной оценки способности рек размывать берега и переформировывать само русло. Наиболее распространённой является оценка устойчивости русел, производимая на основе специальных показателей. При оценке русловых деформаций на реках Камчатки в качестве такового был принят коэффициент стабильности русла Н. И. Маккавеева [1955]:

$$K_c = \frac{d}{I b_p} - 1000,$$

где d — средняя крупность наносов, мм; I — уклон, ‰; b_p — ширина русла, м. Каждому интервалу этих показателей соответствуют определённые скорости размыва берегов, развития и обмеления рукавов, спрямления излучин, смещения побочной и осередков. Поэтому классификация рек по степени устойчивости включает в себя значения коэффициента стабильности K_c и эмпирические данные об интенсивности переформированных русел (табл. 1.10). Для их характеристики на меандрирующих реках использованы данные о скоростях размыва берегов в привершинных частях излучин (C_6), на реках с разветвлённым руслом — об интенсивности трансформации степени разветвлённости $\Delta (K_a/L)$, где K_a — число рукавов, L — длина разветвлённого участка [Чалов С. Р., 2007]. Это позволяет использовать показатели устойчивости русла для оценки опасности проявлений русловых процессов.

Реки Камчатки с большим содержанием в составе руслообразующих наносов гальки (такowymi является большинство рек) отличаются специфическими диапазонами коэффициентов устойчивости по сравнению с песчаными руслами [Маккавеев, Чалов Р. С., 1986]. Это определило необходимость разработки классификации применительно к конкретным условиям галечных и галечно-валунных рек [Чалов Р. С., 2008; Ермакова, 2009а]. Поэтому на основе сведений об интенсивности размывов берегов на разных реках и полученных значений K_c для рек Камчатки предложена следующая типизация русел по устойчивости: неустойчивые — $K_c < 200$; слабоустойчивые — $K_c = 200-600$; относительно устойчивые и устойчивые — $K_c > 600$.

Наиболее динамичным с точки зрения изменчивости форм русла является равнинное меандрирующее русло р. Камчатки в среднем и нижнем течении. Скорости отступления берегов здесь достигают 5 м/год, коэффициент стабильности среди рек полуострова минимален — $K_c = 25$. Совмещение космических и аэрофотоснимков за разные годы позволяет оценить скорости продольного и поперечного смещения излучин (рис. 1.28). С 1975 по 2005 г. в среднем течении реки отдельные излучины были спрямлены, бывшие русла ранее спрямлённых излучин постепенно отмирают, максимальные продольные и поперечные скорости смещения излучин составляют 10,5 и 9,5 м/год, средние — 4,7 и 5,5 м/год соответственно. На привершинных участках и на крыльях излучин отмечается образование небольших островов. По аналогии с реками других природных условий [Алексеевский и др., 2004] русла этих рек относятся к типу неустойчивых.



Рис. 1.28. Совмещённый план русла р. Камчатки в среднем течении (неустойчивое русло, $K_c = 100$)

Наименьшей устойчивостью отличаются также разветвлённые русла крупнейших полугорных рек полуострова. Как показывает сравнение с приводимыми С.П. Крашенинниковым [1755] описаниями, в течение XIX–XX вв. произошла полная и, видимо, неоднократная перестройка русловой сети разветвлений. Для русел рек этого типа в условиях максимальной мощности потока характерны значительные изменения рисунка сети рукавов в течение одного паводка. Например, участок русла р. Авачи в районе пос. Северные Коряки в 1960-х гг. за счёт активного развития новой системы рукавов изменил тип русла с меандрирующего на разветвлённый (см. гл. 3). Трансформация степени разветвлённости многоорукавных

Таблица 1.10. Классификация русел рек Камчатки по степени устойчивости

Тип русловых процессов	Морфодинамический тип русла	Характеристика устойчивости русла	Коэффициент стабильности K_c	C_{σ}^{**} м/год	$\Delta (K/L)^{***}$
Равнинный	Меандрирующее русло	Неустойчивое	< 50	5	–
Равнинный	Меандрирующее русло	Слабоустойчивое	200–600	1–3	–
Равнинный	Болотные реки	Устойчивое	> 600	0	–
Равнинный	Пойменные и русловые разветвления	Слабоустойчивое	< 200	5–10	н/д
Равнинный	Прямолинейное русло, чередующееся с адаптированными излучинами и русловыми разветвлениями	Относительно устойчивое и устойчивое	> 600	0–0,3	
Полугорный	Меандрирующее русло	Слабоустойчивое	< 50	до 20 м/год	
Полугорный	Пойменные и русловые разветвления	Неустойчивое	< 50	до 40 м/год	0,15–0,25
Полугорный	Пойменные и русловые разветвления	Слабоустойчивое	200–600	1–2	0,05–0,1
Полугорный, горный	Осерёдковые (блуждающие русла разветвления лахаровых долин)	Неустойчивое	< 200	Суточная динамика русловой сети	
Полугорный	Прямолинейное русло, чередующееся с адаптированными излучинами и русловыми разветвлениями	Относительно устойчивое и устойчивое	> 600	0–0,3	
Горный	Меандрирующее русло (чередование участков формирования адаптированных и врезанных излучин)	Относительно устойчивое и устойчивое	> 600	0–0,3	
Горный	Пойменные и русловые разветвления	Слабоустойчивое	200–600	0,3–1	0,02–0,07
Горный, РАФ*	Прямолинейное русло, чередующееся с адаптированными излучинами и русловыми разветвлениями	Относительно устойчивое и устойчивое	> 600	0–0,3	–
Горный, НРАФ*, ПВ*	Прямолинейное русло, чередующееся с врезанными или адаптированными излучинами и русловыми разветвлениями	Устойчивое	> 1000	0	–

* Горные типы русловых процессов: РАФ — с развитыми аллювиальными формами, НРАФ — с неразвитыми аллювиальными формами, ПВ — порожисто-водопадье.

** C_{σ} — наблюдаемые скорости смещения берегов. *** $\Delta(K/L)$ — интенсивность трансформации степени разветвлённости в многолетнем плане.

русел происходит с интенсивностью $\Delta K_c/L = 0,05-0,08$ при максимальном значении до 0,33, зафиксированном в среднем течении р. Авачи. В разветвлённых руслах дополнительным фактором интенсивных деформаций является образование древесных заломов (рис. 1.29), которые, в свою очередь, приводят к активизации развития или отмирания рукавов, усилению размывов берегов. Свидетельством неустойчивости русла является также характер берегов, почти повсеместно вследствие подмыва имеющих вид субвертикальных уступов. Коэффициент стабильности русел таких рек не превышает 50, скорости размыва берегов и интенсивность трансформации структуры русловых разветвлений максимальны.



Рис. 1.29. Формирование древесного залома у оголовка острова полуострова реки (р. Банная в нижнем течении, бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской)) (фото Е. В. Есина)

Участки этих рек характеризуются экстремальными темпами размывов берегов, быстрым развитием одних и отмиранием других рукавов. Выявленные темпы отступления берегов в вершинах излучин (до 40 м/год) соответствуют максимальным, встречающимся в природе. Это обусловлено уникальным сочетанием геолого-геоморфологических (высокие уклоны русла, легко размываемые грунты, широкая и низкая пойма), гидрологических (высокие и резкие половодья) и местных (интенсивный карчеход и образование заломов) факторов (рис. 1.30). В период прохождения высоких паводков на крупнейших реках (Авача, Палана и др.) темпы размыва берегов в вершинах излучин в первые годы формирования излучины могут достигать 40 м/год, составляя в среднем 5–10 м/год. Средний период цикла формирования излучин в правом рукаве р. Авачи у пос. Северные Коряки составляет 6–7 лет. При прохождении высоких расходов воды происходят интенсивные переформирования русла и размывы берегов в вершинах излучин. Этот же фактор увеличивает мощность карчехода, возникающего за счёт размыва пойменных берегов на вышерасположенных участках реки, который, в свою очередь, приводит к развитию заломов древесной растительности и становится самостоятельным непредсказуемым фактором развития русла.

На полуостровных реках меньшего размера, отличающихся большей крупностью руслообразующих наносов, устойчивость русла выше. Это характерно в основном для среднего течения некоторых больших либо для средних рек полуострова. К первым относится р. Быстрая (Большая) в районе с. Малки. Ко вторым — р. Гольцовка (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской)), р. Быстрая в районе с. Эссо (бассейн р. Камчатки). Коэффициент стабильности русла (K_c) составляет около 300. Для рек этого типа характерны относительно простая структура пойменных и русловых разветвлений, размывы берегов только в привершинных частях излучин и более спокой-

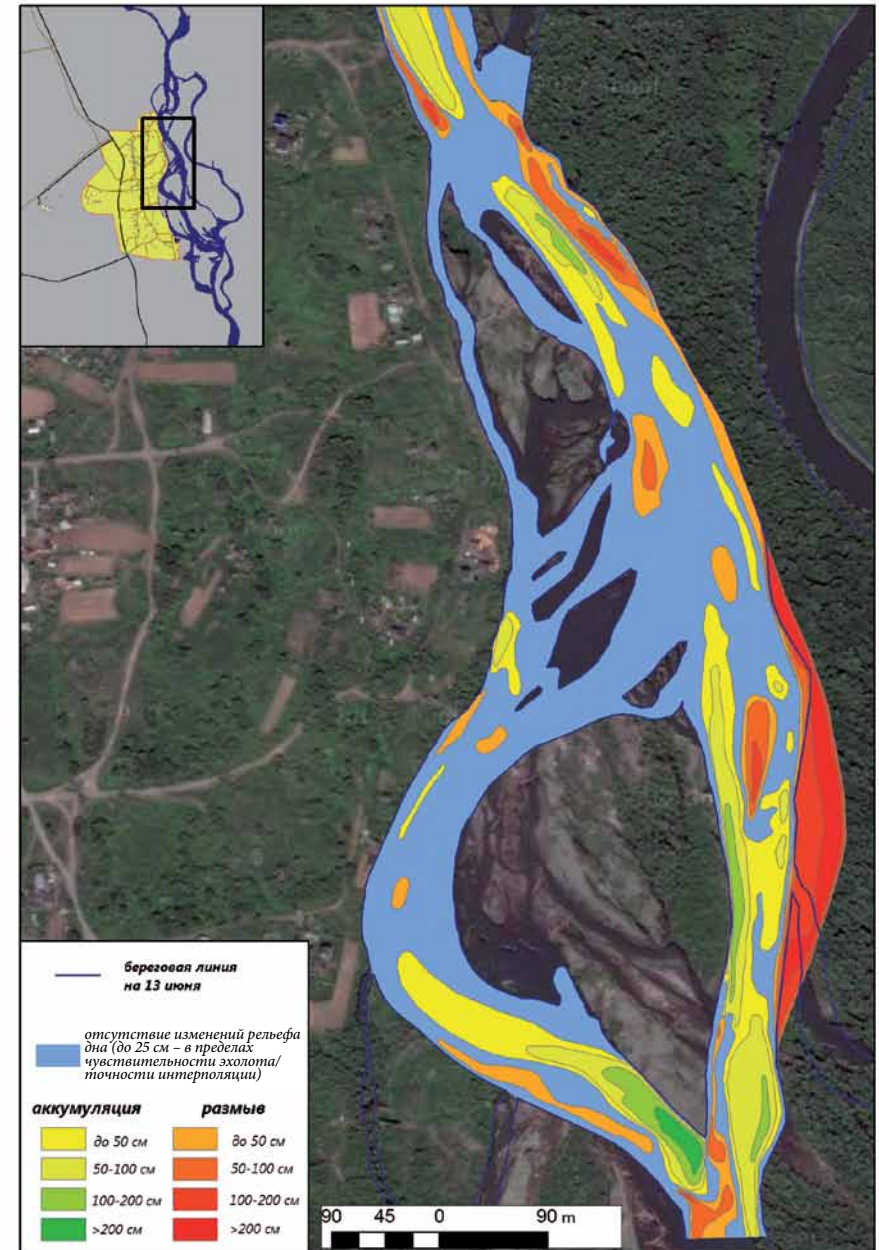


Рис. 1.30. Деформации правого рукава русла р. Авачи возле пос. Северные Коряки (фон – космический снимок, май 2013 г.)

ная гидродинамическая обстановка (скорости потока лишь на перекатах превышают 1 м/с). Отдельные рукава этих разветвлений имеют спокойное течение и становятся аналогами малых и средних равнинных меандрирующих рек: р. Быстрая Малкинская в верхнем течении, р. Первая Красная (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской)), р. Вывенка в среднем течении, где размывы берегов приурочены лишь к вершинам излучин. Близкие значения имеет и величина K_c — 250–350. Процесс размыва берегов, закреплённых растительностью, сопровождается обрушением целых массивов берега, которые, попадая в поток, постепенно размываются (рис. 1.31).



Рис. 1.31. Подмываемый берег р. Быстрой Малкинской в верхнем течении (фото А.С. Чаловой)

В верховьях р. Быстрой Малкинской летом 2005 г. была произведена съёмка участка русла (рис. 1.32 А) с несколькими крутыми сегментными (№ 1, 4), петлеобразной (2) и синусоидальными (5, 6, 7) излучинами. Степень развитости l/L отдельных излучин равна 4–5,5. Ширина шпоры в самом узком месте излучины № 2 в обследованной серии составляла в 2005 г. около 10 м. При повторном обследовании весной 2007 г. излучина оказалась спрямлённой (рис. 1.32 Б), что произошло при прохождении половодья 2006 г. Ниже спрямлённой излучины располагается несколько крутых излучин (4–7), которые смещаются в поперечном и в меньшей степени продольном направлении за счёт размыва вогнутых берегов и аккумуляции наносов на прирусловых отмелях у выпуклых. Соответственно крутизна и значения показателя степени развитости этих излучин постепенно увеличиваются.

Близкие значения коэффициента стабильности русел ($K_c = 290–370$) имеют средние горные реки с развитыми аллювиальными формами: Кавыча и Быстрая Эссовская в среднем течении (бассейн р. Камчатки). Для горных рек меньшего размера (Правая Камчатка, Кашкан, Урилка — бассейн р. Камчатки) характерно увеличение устойчивости русел, поскольку меньшая водоносность и, следовательно, мощность потока приводят к снижению интенсивности русловых перестроений — $K_c = 470–520$. Однако свободные условия развития русловых деформаций при выходе малых и средних горных рек (Уздач, Ипукик — бассейн р. Плотниковой) в долину большей реки обуславливают снижение устойчивости русла в нижнем течении по сравнению с вышележащими участками — $K_c = 295–375$. Эти реки протекают в основном в низкогорных или предгорных районах, имеют горное русло с развитыми аллювиальными формами и в большинстве своём являются

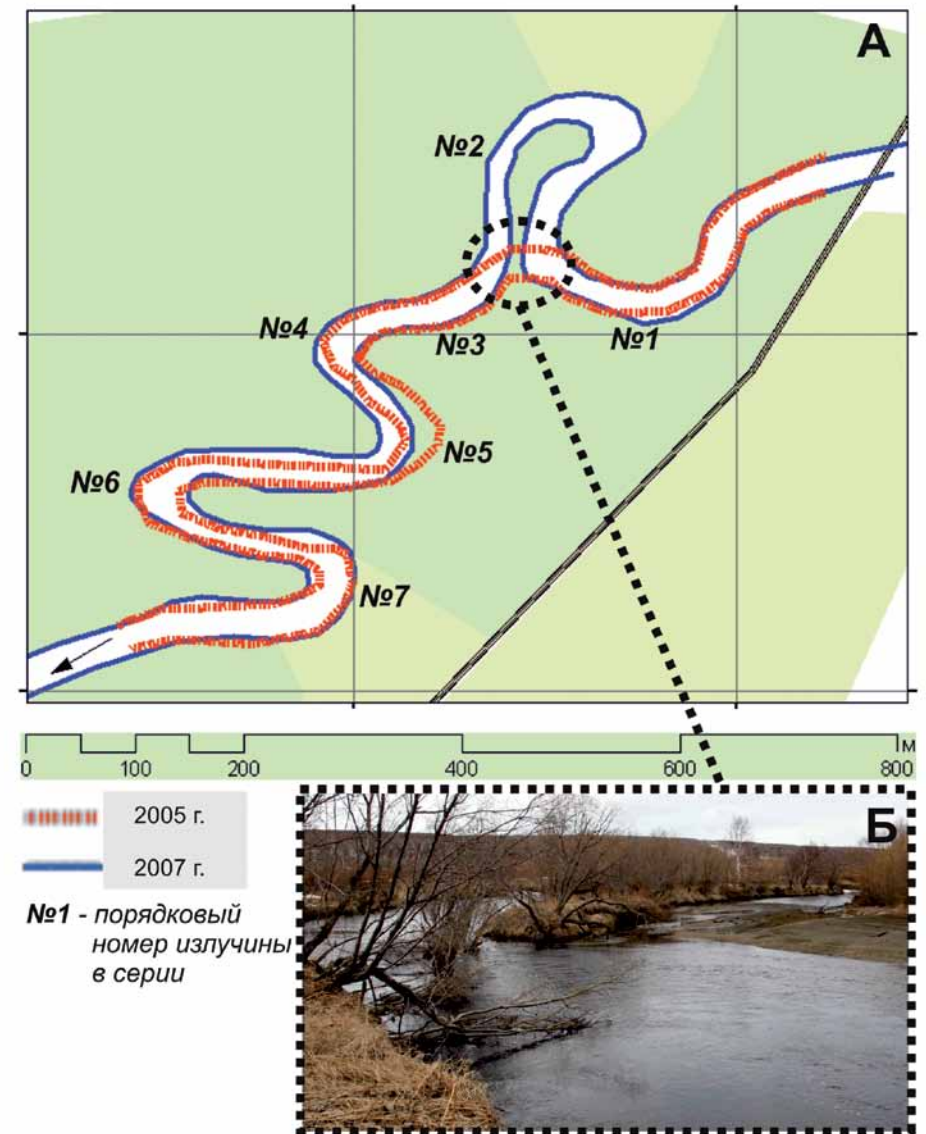


Рис. 1.32. Меандрирующее русло р. Быстрой (Большой) в верхнем течении (слабоустойчивое русло, $K_c = 245$): А — совмещённый план русла; Б — спрямление излучины № 2 (фото А. В. Улатова, май 2007 г.)

притоками более крупных рек — Камчатки, Быстрой (Большой), Плотниковой, Авачи. По типу устойчивости русла этих рек относятся к слабоустойчивым ($K_c = 200–600$).

Горизонтальные русловые деформации не проявляются на большинстве горных рек в верхнем и среднем течении. Таковы, например, ручей Китхажинец (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской)) и р. Уксичан (бассейн р. Камчатки), имеющие русла с неразвитыми аллювиальными формами и порожиисто-водопадными. Причинами высокой устойчивости ($K_c > 800$) являются крупный состав руслообразующих наносов (галечно-валунный и валунный) и, как правило, ограниченные условия развития русловых деформаций (горные районы).

Также повышенной устойчивостью обладают русла некоторых малых равнинных рек, отнесённых к типу болотных (бассейн р. Начилова). Измерения, проведённые по реперной сети в 2004 и 2005 гг. на р. Микочева, позволили установить крайне слабые изменения очертаний берегов. Смещение вогнутого берега в вершине излучины с июля 2004 г. по август 2005 г. произошло в пределах точности измерений. Берега на всём протяжении реки задернованы, формы руслового рельефа развиты очень слабо. Реки этих типов при $K_c > 500$ относятся к типу относительно устойчивых и устойчивых русел.

Наконец особую группу составляют реки лахаровых долин, характеризующиеся крайне неравномерным стоком воды и наносов. Соответственно русловые деформации здесь носят совершенно особый характер.

Структура осередковых разветвлений вулканических рек случайна и полностью видоизменяется после прохождения очередного паводка. В результате суточных колебаний стока воды (рис. 1.33, 1.34) время существования отдельных проток измеряется десятками минут. На р. Сухой Авачинской в 20 км от истока при изменении расхода воды от 0 (стока нет) до $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ число проток в поперечном сечении долины достигает 7. Интенсивность трансформации степени разветвлённости $\Delta (K_a/L)$ русел вулканических рек характеризуется совершенно другими временными масштабами (сутками и даже часами) по сравнению с руслами других типов. Эти свидетельствуют о крайней неустойчивости русел рек лахаровых долин.

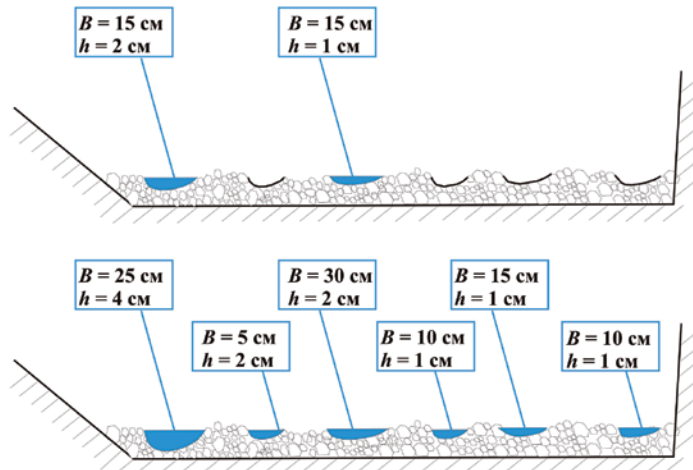


Рис. 1.33. Схема суточных изменений ширины (B) и глубины (h) осередковых разветвлений рек лахаровых долин

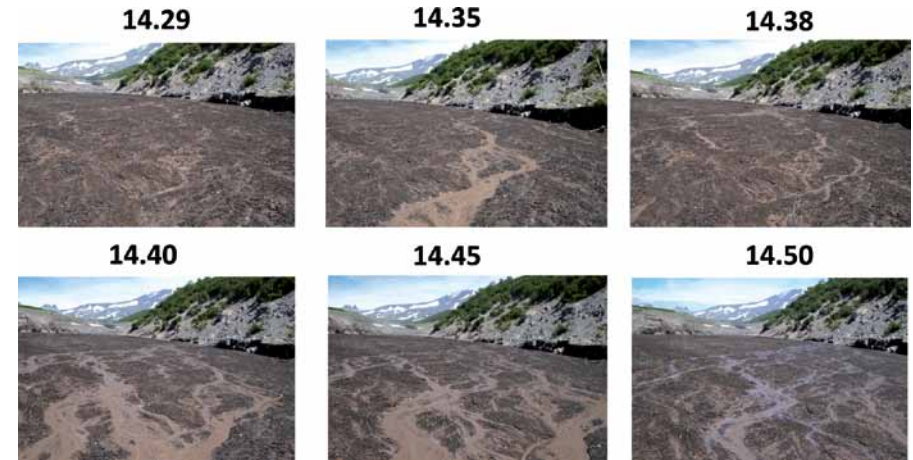


Рис. 1.34. Сопоставленные фотоснимки русла р. Сухой Елизовской 31 июля 2010 г. (фото МВ. Сидоровой). На фотографиях указано время (часы и минуты)

Одним из ключевых вопросов в управлении хозяйственной деятельности в руслах рек является определение фоновых условий развития русла. Во многом это связано с наличием аномальных (опасных) проявлений русловых переформирований, характерных для рек Камчатки. Большие уклоны территории и значительная водоносность многих камчатских рек находят отражение в интенсивных горизонтальных и вертикальных русловых деформациях. Экстремальная интенсивность блуждания характерна для русел рек лахаровых долин, а также для разветвлённых полугорных рек. Темпы отступления берегов в вершинах излучин рукавов пойменно-русловых разветвлений (до 40 м/год) соответствуют максимальным встречающимся в природе. Это обусловлено уникальным сочетанием геолого-геоморфологических (высокие уклоны русла, легкоразмываемые грунты, широкая и низкая пойма), гидрологических (высокие и резкие половодья) и местных (интенсивный карчеход и образование заломов) факторов. Прогнозирование последних играет ключевую роль при учёте русловых деформаций в проектировании различных водохозяйственных мероприятий, что связано с фактически ведущей ролью этого «второстепенного фактора» в развитии русел многих рек. Не менее важным региональным фактором является также селевая активность вулканического происхождения.

Фоновые (природные) условия развития русловых процессов определяют возможность организации хозяйственной деятельности в поймах, по берегам и в руслах рек, в то время как развитие опасных русловых процессов создаёт непосредственную угрозу инженерным и гидротехническим сооружениям. Их учёт должен быть основой для научного обоснования рекомендаций по предотвращению неблагоприятного воздействия природных процессов, что показано на региональных примерах в следующих разделах книги.

Высокая интенсивность русловых деформаций — это основной фоновый (природный) фактор формирования среды обитания лососёвых рыб. Разви-

тие сообществ лососёвых рыб многих рек Камчатки происходит в экстремальных природных условиях. В результате проявления опасных руслвых процессов в течение одного паводка могут происходить значительные изменения среды обитания лососёвых рыб за счёт перестройки русла. Особенности руслвых процессов, а также характеристики водного и температурного режимов и химического состава речных вод определяют совокупность лимитирующих абиотических факторов среды для развития сообществ лососёвых рыб. С экологической точки зрения фоновые условия соответствуют отсутствию техногенных изменений указанных факторов среды, однако могут быть опасными для лососей по своей природной сути. Определение фоновых условий должно проводиться дифференцированно для разных рек на основе оценки характера руслвых процессов (классификации морфодинамических типов русел) и гидрохимических и гидрологических характеристик.

Глава 2 РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК ФАКТОР СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЛОСОСЁВЫХ РЫБ

Условия воспроизводства лососей в реках полуострова определяются прежде всего соотношением пригодных для нереста и нагула участков в руслах разных морфодинамических типов, постоянством водного режима, составом и интенсивностью заиления донного субстрата, мутностью воды. Изменение значений перечисленных факторов в неблагоприятную для воспроизводства сторону возможно как по естественным причинам, так и под действием антропогенных процессов.

Пространственное изменение разнообразия мест нереста и обитания лососёвых рыб может быть выражено рядом параметров, характеризующих составляющие речного стока (воды, наносов, растворённых веществ, тепла), физические параметры потока (скорости, температуры и т. д.) и геолого-геоморфологические условия формирования русел.

Мощнейшим фактором развития речных экосистем Камчатки является современный вулканизм. Вулканическая активность определяет на полуострове орографическую структуру многих территорий. Не менее 15% речной сети полуострова приурочено к вулканическим ландшафтам и исключено из нерестового фонда, а пеплопады, лахары и вулканические лавины затрагивают также удалённые реки. Только Авачинско-Корякская группа вулканов занимает 300 км² и дренируется 8 самостоятельными речными бассейнами, верхние звенья которых не используются рыбами для воспроизводства. Трансформация среды в реках, стекающих с вулканов, происходит под влиянием поступления пирокластических горных пород, подземных вод и серосодержащих летучих соединений. Основными вулканогенными загрязнителями становятся как минеральные взвеси и влекомые по дну наносы, так и высокоминерализованные растворы. Изменение условий среды также происходит под влиянием пересыхания рек и снижения устойчивости русел, вызванных высокой проницаемостью слагающих русла пирокластических материалов.

2.1. Общие сведения о лососёвых рыбах Камчатки

подавляющее число водотоков Камчатки является местом нереста и нагула рыб из семейства *лососёвых Salmonidae*. Лососи особо чувствительны к условиям среды воспроизводства — им требуется насыщенная кислородом холодная вода с низкой мутностью, быстрое течение, незаиленный гравийно-галечный грунт. Без сочетания всех этих факторов, свойственных для так называемых «лососёвых» рек, популяции лососей с разной степенью скоростью деградируют. В XXI в. Камчатка остаётся одним из последних крупных регионов мира, где в первозданном виде повсеместно сохранились условия для естественного нереста лососей. Сейчас здесь воспроизводится примерно пятая часть мировых запасов диких лососей и наблюдается самое большое в мире разнообразие их видов. Рыбы из этой группы составляют основу ихтиофауны рек и озёр полуострова, во многих водотоках никакие другие рыбы, кроме лососей, не встречаются. Больше нигде в мире нельзя одновременно поймать до 9–10 нативных видов лососей. Их добыча стабильно обеспечивает треть объёмов промышленного производства Камчатского края и остаётся одним из приоритетных направлений развития региональной экономики.

Абсолютное доминирование лососей в пресных водах Камчатки объясняется их чрезвычайной эволюционной (адаптационной) пластичностью. У этих рыб имеются многовариантные программы индивидуального развития, которые под влиянием баланса наследственных факторов и условий среды приводят к образованию множества группировок, различающихся по образу жизни, внешнему виду, поведению, местам и срокам нереста. Популяции камчатских лососей включают проходные (нагуливаются в море вдали от берегов), полупроходные (нагуливаются в эстуариях и распреснённом прибрежье) и туводные (кочующие по рекам и осёдлые) группы. Проходные рыбы одного вида различаются продолжительностью морского нагула, а также сроками захода в реки (ранние и поздние расы), временем и местами нереста. В разные годы при разных климатических условиях и численности резерв изменчивости комплекса группировок позволяет популяциям выживать и сохраняться как единому целому.

Внутрипопуляционное разнообразие формируется относительно независимо в каждом отдельном речном бассейне в соответствии со спецификой местных условий. Индивидуальная направленность эволюционного процесса в разных нерестовых бассейнах достигается благодаря хомингу проходных рыб, т. е. возврату рыб для размножения в родную реку, приток или конкретный участок нерестового водоёма. Лососёвые — первично пресноводная группа рыб, их эмбриональное развитие может проходить только в пресных водах. Необходимым условием успешного развития является хороший водообмен в нерестовых гнёздах, который обеспечивает благоприятные кислородные условия и вынос продуктов жизнедеятельности. С целью создания условий для омывания икры лососи откладывают икру на участках с интенсивной фильтрацией речного потока через дно или в местах выхода грунтовых вод. Самки вымётывают икру в вырытые ими ямы, а после оплодотворения засыпают гнёзда грунтом, под защитой которого в течение 3–9 месяцев проходит развитие зародышей (рис. 2.1).

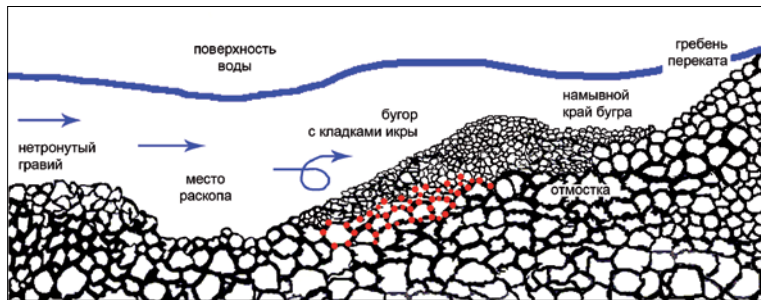


Рис. 2.1. Схема нерестового гнёзда тихоокеанских лососей

После выхода из грунта молодь питается беспозвоночными, населяющими поверхность речного дна, мигрирующими в потоке воды или попадающими на её поверхность. С момента перехода на мальковый период (у лососей мальков часто называют пестрятками) начинается их активное расселение по рекам и озёрам. Перед миграцией в солёные воды молодь большинства видов претерпевает сложную морфофизиологическую перестройку (смолификацию), цель которой — подготовка организма для жизни в солёной воде. Скот в море проходит весной — в первой половине лета, ближе к зиме подростки откочёвывают от берегов. Возвращающиеся на нерест взрослые особи на входе в нерестовые реки приобретают брачный наряд. Под

действием большого количества гормонов, которые необходимы для быстрого созревания половых желёз, изменяются пропорции тела, окраска становится ярче, разрастаются хрящи, в результате чего вырастает «горб» и на одной из челюстей образуется крюк (рис. 2.2). Во время подъёма по рекам лососи не питаются, существуя исключительно за счёт энергетических запасов, накопленных в виде жира и мышечной ткани. Виды из рода тихоокеанские лососи *Oncorhynchus* мечут икру всего один раз в жизни, отнерестившиеся рыбы погибают. Тихоокеанские форели *Parasalmo* и голец *Salvelinus* могут нереститься до 7 раз, но обычно — не больше 3–4. При этом часть рыб погибает после каждого нереста, а выжившие сразу же скатываются в нижнее течение рек. Рыбы распределяются по нерестилищам видоспецифично — участки дна, на которых происходит размножение, различаются привязанностью к определённым формам руслового рельефа, составом грунта, свойствами потока. Такое расхождение по специфическим станциям позволяет лососям избегать межвидовой конкуренции и более эффективно эксплуатировать доступные нерестовые площади.

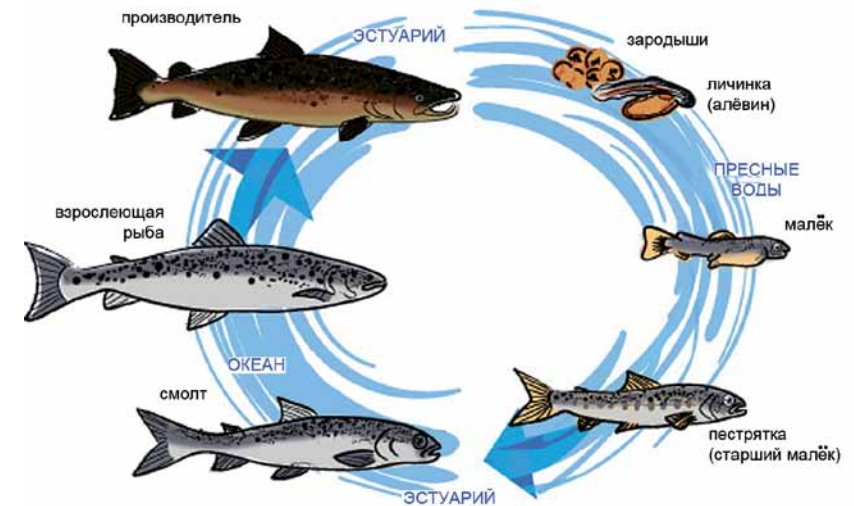


Рис. 2.2. Схема жизненного цикла проходных лососей (сайт University of California, <http://sns.ucdavis.edu>)

Из перечисленных ниже видов тихоокеанских лососей основное промысловое значение на Камчатке имеют лишь первые пять.

1. Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*. Самый многочисленный вид, заходит на нерест практически во все реки полуострова. Средняя масса от 1,5 до 3 кг, редко встречаются самцы до 5 кг. Жизненный цикл направлен на наиболее полное освоение ресурсов океана. В пресных водах молодь проводит 1,5–3 месяца. Пик ската приходится на половое, во время миграции молодь в реке практически не питается. Продолжительность морского нагула — 1,5 года, поэтому поколения чётных и нечётных лет фактически репродуктивно изолированы. Повсеместно наблюдается чередование многочисленных и малочисленных поколений смежных лет. Размножение проходит в августе в нижнем и среднем течении рек на участках перед гребнями перекатов в зоне фильтрации руслового потока в дно. При многочисленных подходах горбуша занимает для размножения все доступные места, включая боковые протоки и ключи.

2. Кета *Oncorhynchus keta*. Широко распространённый проходной вид, нерестится в большинстве речных систем полуострова. Средняя масса составляет 3–4 кг, встречаются самцы до 7,5 кг. В пресных водах молодь проводит 2–4 месяца, подростки образуют стайки и в мае–июне мигрируют в море. Период океанического нагула — от 1,5 до 5 лет (обычно 3 года), в нересте совместно участвуют рыбы разного возраста. Численность на нерестилищах от года к году относительно стабильная. В крупнейших реках воспроизводится 3 сезонные расы. Ранняя раса нерестится в июле–августе в основном русле перед перекатами в зоне проникновения потока в грунт; более поздняя — на ямах за перекатами в местах выклинивания подруслового потока; осенняя, самая мелкая — на выходах грунтовых вод в пойменных протоках и ключах среднего и нижнего течения больших рек. Чёткая изоляция по срокам миграции и нереста между расами отсутствует. В небольших речках обычно нерестится только ранняя раса.

3. Нерка *Oncorhynchus nerka*. Самый ценный промысловый лосось Камчатки, отличается особо яркой красной мускулатурой. Достигает массы 1,5–3 кг, редко до 4,5 кг. В бассейне озера Курильское на территории Южно-Камчатского заказника воспроизводится крупнейшая в Евразии популяция нерки. Выделяются лимнофильная (озёрная) и реофильная (речная) формы, причём в крупных реках последняя разделяется на сезонные расы. Речные рыбы позднего хода обычно крупнее и входят в реки с более выраженным брачным нарядом. Для нереста нерка выбирает места с выходами грунтовых вод на гравийно-галечных мелководьях. Вид отличается сложной возрастной структурой. Молодь проводит в пресных водах от нескольких месяцев до четырёх (озёрная форма) лет, обычно — 2–3 года. После ската рыбы нагуливаются в море от одного до 4–5 лет. Часть самцов (т.н. карлики) остаётся на всю жизнь в озёрах и проходит половое созревание в размерном диапазоне крупной молоди. В итоге в нересте могут одновременно участвовать представители 10–15 биографических групп.

4. Кижуч *Oncorhynchus kisutch*. Широко распространённый проходной вид, нерестится в большинстве речных систем. Обычная масса от 3,0 до 3,5 кг, редко 5–7 кг. В пресных водах молодь проводит до 3-х лет, небольшая часть мальков скатывается уже в первый год жизни. Морской нагул короткий, немного больше года, причём часть самцов (каюрки) созревают в море за одно лето. В некоторых прибрежных озёрах живут туводные популяции. Кижуч отличается самой высокой среди тихоокеанских лососей скоростью роста. Нерестовый ход в реки продолжается с августа по декабрь, отдельные особи нерестятся до января уже подо льдом. Условно выделяются 2 расы. Поздний кижуч отличается более тёмным брачным нарядом и мелкими размерами, он поднимается выше по течению и проникает в самые удалённые притоки. Нерестилища располагаются вдоль крутых берегов в основном русле, в ключах и боковых протоках на выходах грунтовых вод.

5. Чавыча *Oncorhynchus tshawytscha*. Самый крупный камчатский лосось. Отдельные особи достигают массы 20–25 кг, средняя масса — от 4,5 до 7,5 кг. Чавыча заходит на нерест в крупнейшие реки обоих побережий, жилых форм не образует. В пресной воде молодь живёт 1 год (редко до 3 лет). Период морского нагула продолжается от нескольких месяцев до 4 (иногда до 6) лет. Сезонные расы не выделяются. В реки чавыча входит первой из всех тихоокеанских лососей, ещё подо льдом; ход совпадает с паводком (май–июнь). Нерест длится с июня–июля и до конца августа. Для размножения этот вид выбирает перекаты основного русла с сильным течением, где прочие лососи не способны удержаться на потоке.

Шестой камчатский вид тихоокеанских лососей, а также два вида гольцов *Salvelinus* (7 и 8) добываются в качестве прилова и имеют высокую ценность для спортивного и любительского рыболовства.

6. Сима *Oncorhynchus masou*. Редкий проходной вид, максимальной численности достигает на Западной Камчатке. Средняя масса от 1,2 до 1,5 кг, редко больше 1,8 кг. В пресных водах сима проводит 1–3 (обычно 2) года, в море зимует 1 раз или дважды. Сезонных рас на Камчатке не выделяется. По рекам рыбы поднимаются в верхнее течение и нерестятся в притоках с пороженным горным руслом. Икру закапывают в гальку, намытую перед гребнями порогов в зоне фильтрации потока в дно. Во время нерестового хода у симы рано появляется яркий брачный наряд, но сохраняется хватательный рефлекс. Молодь осваивает речные истоки. Значительная часть самцов остаётся в пресных водах на всю жизнь. Такие карлики в больших количествах нерестятся вместе с крупными проходными самками.

7. Мальма (голец) *Salvelinus malma*. Самый широко распространённый на полуострове вид рыб. Мальма отличается разнообразием жизненных стратегий: наряду с типичной проходной формой и карликовыми самцами в крупнейших озёрно-речных системах образуются полупроходные и жилые обополюе группировки, созревающие без выхода в море. Все формы размножаются совместно в конце августа–сентябре на гравийных отмелях в среднем и верхнем течении основного русла и предгорных притоков. Топология нерестилищ совпадает с горбушевой, однако мальма всегда занимает место ближе к берегу и ниже по течению (почти на гребне переката), чем нерестящаяся горбуша. Размерно-весовые характеристики гольцов варьируются в широких пределах, проходные рыбы достигают массы 12 кг. Нерест многократный, продолжительность жизни — более 12 лет, молодь проходной формы проводит в пресной воде до первого ската 2–4 года, широко расселяясь по рекам и озёрам и проникая в самые удалённые притоки. Взрослые речные гольцы держатся в главных руслах, в питании преобладает молодь лососей и донные беспозвоночные. Во время нереста тихоокеанских лососей гольцы всех возрастов активно потребляют вымытую из гнёзд икру.

8. Кунджа (голец) *Salvelinus leucomaenis*. Относительно немногочисленный проходной вид. В верхнем течении бассейнов рек Камчатки и Большой (Быстрой Малкинской) также обитают жилые группировки. Предельная длина — 1 м, масса — около 10 кг, возраст 17 лет. Первые 3–4 года проводят в пресных водах, затем ежегодно в мае–июне начинают выходить на нагул в море и в июле–октябре возвращаются в реки на зимовку и размножение, причём до полового созревания кунджа совершает 2–4 кормовые миграции. Нерест многократный, проходит в сентябре–октябре в небольших притоках нижнего и среднего течения со спокойным течением. Основу питания кунджи составляет рыбная пища. Взрослые рыбы — хищники устьев рек, основные объекты питания — молодь лососей и корюшек, колюшки и камбала. Во время ската горбуши и кеты кунджа может выедать значимую часть покатников.

Тихоокеанские форели являются ценным объектом спортивного лова.

9. Микижа *Parasalmo (O.) mykiss*. Вид представлен жилой, полупроходной и проходной формами, причём последняя (камчатская сёмга) в большей степени распространена по западному побережью. Средняя масса жилых рыб — от 0,5 до 1,5 кг, редко больше 3 кг. Проходные рыбы значительно крупнее — до 8–10 кг. Половое созревание начинается в возрасте 4–6 лет, предельная продолжительность жизни — 11–12 лет. Микижа может размножаться несколько раз в жизни, нерест всех форм проходит в мае–июне на перекатах в нижнем течении притоков с ме-

андрирующим равнинным руслом и тёмной тундровой водой. Икру зарывает на участках перед гребнями перекатов. Благодаря быстрому прогреву тёмной воды после половодья развитие икры ускоряется, и мальки выходят из грунта уже в конце июля. Взрослые жилые рыбы — хищники участков меандрирующих и разветвлённых русел.

2.2. Характеристика среды обитания лососёвых рыб

2.2.1. Биотопическое распределение лососей в руслах разного типа

Согласно современной концепции устройства экосистемы лососёвой реки, её можно представить в виде непрерывного «коридора», состоящего из цепи взаимосвязанных, переходящих друг в друга участков русел и поймы. Пространственная мозаика биотопов не остаётся статичной во времени из-за смены фаз водного режима, горизонтальных деформаций русел, вымывания и отложения аллювия, переноса карчей, регенерации наземного растительного покрова и т. д. Изменение реки в сезонном, многолетнем и многовековом аспекте, проявляющееся в преобладании того или иного направления деформаций и переформирований русла, постепенно приводит к структуризации речной долины, в результате чего повышается общее разнообразие и устойчивость экосистемы [Stanford et al., 2005; Tockner et al., 2006]. Направление и динамика развития экосистем подчинены специфике русловых процессов в пределах разных ландшафтов. Внешним проявлением русловых процессов является морфодинамический тип русла [Чалов Р.С., 1997]. Таким образом, определяя условия среды, русловые процессы приводят к образованию специфических по составу, структуре и численности группировок рыб, территориально приуроченных к участкам русел разных морфодинамических типов. Разнообразие и стабильность структуры рыбного населения при этом напрямую зависит от сложности гидролого-геоморфологической структуры русловых форм [Church et al., 2001; Marcus et al., 2003]. Изменение структуры ихтиоценозов вместе с закономерной сменой типов русел вниз по течению лососёвых рек показано для Приморья [Семенченко, 2001], Сахалина [Живоглядов, 2004], Японии [Goto, Nakano, 1993] и Северной Америки [Swales, 1987; Friesen, Ward, 1996]. Данная закономерность отчётливо проявляется и на лососёвых реках Камчатки [Ермакова и др., 2005; Павлов и др., 2009; Есин и др., 2009].

Максимальное разнообразие местообитаний рыб наблюдается на полуострове в полугорных и равнинных руслах с пойменно-русловыми разветвлениями [Алексеевский, Чалов С.Р., 2009]. Донный рельеф в зонах разветвлений крайне неоднороден, встречаются перекаты, затонины, плёсы, эрозионные ямы и омуты, отмели, заводи и периферические протоки. На участках разветвлений везде наблюдается формирование сложных сбалансированных сообществ рыб. Молодь держится повсеместно, но наиболее многочисленна в протоках, под древесными заламами и в пойменных заводях. Часть видов (чавыча, мальма) укрывается под нависающими берегами в рукавах. Крупные рыбы стоят на ямах и под перекатами. Средняя плотность заселения магистральных русел и крупных рукавов обычно составляет 0,5–1,0 экз/м². В пойменных протоках скопления молоди часто превышают плотность в 5–6 экз/м². В заводях и укрытиях на потоке отстаиваются сотни рыб. На разветвлённых руслах нерестится горбуша, кижуч и кета обеих рас, мальма, нерка, а также чавыча, кунджа и колюшки. В моменты массового нереста производители разных видов мозаично распределяются по элементам руслового рельефа: горбуша и гольцы не-

рестятся перед гребнями перекатов, ранняя кета — под перекатами, ранний кижуч — в промоинах вдоль берега, поздние кижуч и кета, а также нерка строят гнёзда в боковых протоках (рис. 2.3). Несмотря на высокую плотность нереста, места размножения отдельных видов и рас не перекрываются. Нерестилища горбуши расположены в конце плёсов перед перекатами; у кеты в основных руслах выделяются нерестилища перед перекатами и на ямах позади перекатов, в пойменных протоках — на выходах грунтовых вод; мальма нерестится у берега в конце плёсов в основных руслах и непосредственно на напорных скатах седловин в протоках и рукавах.

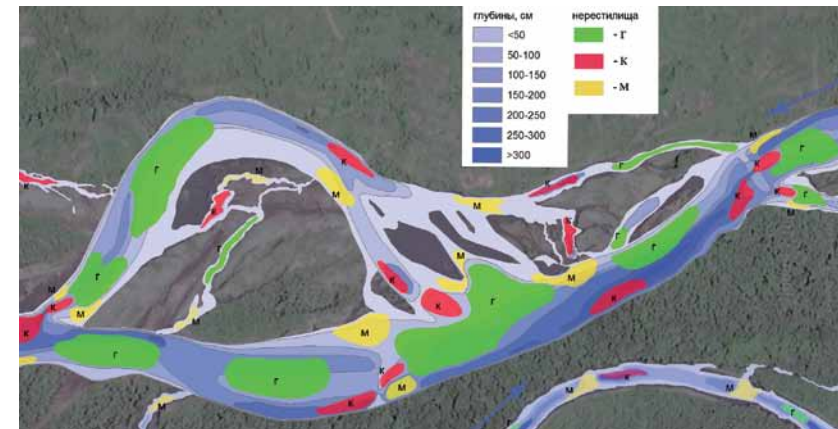


Рис. 2.3. Топография нерестилищ горбуши (г), малочисленное поколение), кеты (к) и мальмы (м) на участке разветвлённого русла во время одновременного размножения в конце августа

В пределах локальных участков рек интенсивность нереста тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*, их видовое разнообразие и площадь используемых нерестилищ увеличиваются на участках осередковой многорукавности (III) и достигают максимума в пределах пойменно-русловых разветвлений (IV) (рис. 2.4). Так, на р. Ветвей в пределах неразветвлённого русла плотность нереста изменялась от 0,02 до 0,49 экз/м². На участке осередкового разветвления она достигала 0,54 экз/м², а на участке пойменно-русловой многорукавности — 0,81 экз/м². Использование для нереста донного субстрата было максимально эффективно на участке осередковой многорукавности, где площадь нерестилищ составила 80% акватории. На участке неразветвлённого русла площадь изменялась от 7 до 28%, а в рукавах участка IV составляла 42%.

Лишь немного по разнообразию рыбного населения разветвлённым руслам уступают полугорные и равнинные меандрирующие русла. Места обитания рыб разделяются здесь на перекаты, затонины, плёсы, отмели, омуты, заводи. Биотопы круглый год заняты молодью лососей с продолжительным пресноводным периодом жизни, колюшками, крупной кунджей, микижей, а также небольшим количеством карликовых самцов симы и мальмы. Молодь держится по всей акватории, но наибольшие скопления наблюдаются на мелководных плёсах, в глубоких промоинах под берегами и в затонинах за перекатами. На небольших равнинных притоках плотность заселения в русле может составлять 1,5–2,0 экз/м². Нерестовые площади занимают горбуша, ранняя кета и кижуч, реже — мальма, микижа, кунджа и чавыча, единично — нерка.

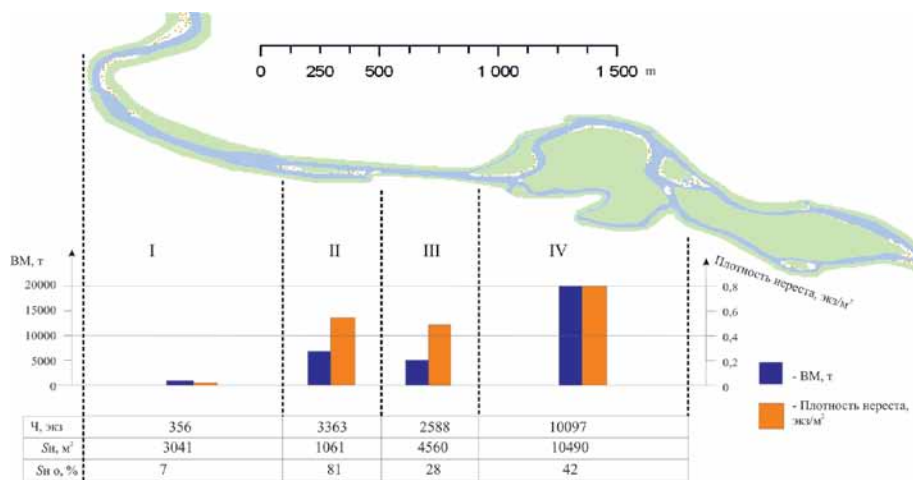


Рис. 2.4. Влияние морфодинамических типов русла на нерест тихоокеанских лососей в р. Ветвей ($N = 9,3$)

BM — биомасса, т; Ч — численность, экз.; S_n — площадь нерестилищ; $S_{но}$ — относительная площадь нерестилищ, %.

I, II, III, IV — морфодинамические типы русла (обозначения в тексте).

* Оценка ихтиомассы BM на нерестилищах произведена из расчёта средней массы производителей $m = 2$ кг.

На горных руслах с развитыми аллювиальными формами и одиночными разветвлениями местообитания рыб разделяются на перекааты и затонины (подперекаатные ямы), плёсы и глайды, эрозионные ямы, отмели и заводи. Также присутствует система придаточных биотопов поймы, включающая периферические протоки, старицы и ключи. Разнообразие рыбного населения высокое, круглый год держится молодь мальмы, кижуча, сима и нерки, а также половозрелые карликовые самцы мальмы и сима. Летом на нагул поднимаются микижа и кунджа. Молодь держится в периферических биотопах и древесных заламах, крупная рыба уходит на ямы и под перекааты. Средняя плотность населения достигает $0,5-1,5$ экз/м², в отдельных укрытиях может держаться до нескольких десятков (и даже сотен) экземпляров особей на 1 м². На горных руслах с перекаатами нерестится кижуч, кета, мальма, нерка; реже — сима, чавыча, горбуша и кунджа.

В верховьях нерестовых бассейнов структура ихтиоценозов упрощается. На ступенчатых порожиисто-водопадных руслах (рис. 1.18) места обитания лососей разделяются на сливы порогов и водопадов, эрозионные котлы (ямы), короткие плёсы с прибрежными отмелями и заводи. Нагульные группировки образованы старшей молодью и взрослыми жильными особями мальмы, кунджи и сима. В небольших количествах в верховья рек также может подниматься молодь кижуча. Рыбы держатся небольшими группами в ямах с вихревым течением, под водопадами, в углублениях между валунами под бурными струями воды. Средняя плотность населения редко превышает $0,1$ экз/м². На зиму молодь скатывается вниз. Нерестовые площади порожиисто-водопадных русел эксплуатирует жилая и проходная мальма, а также сима и кижуч. Нерестилища гольца приурочены к отмелям гравийным прибрежьям, сима — к грядам перед сливами порогов, кижуча — к отдельным промоинам в вынужденных излучинах вдоль крутых берегов.

На руслах с неразвитыми аллювиальными формами разнообразие ихтиоценозов также невысоко. Такие участки образованы большими однородными глайдами (участками с однородным бурным течением и ровным дном), прибрежными отмелями, отдельными порогами и эрозионными ямами (рис. 1.19). Летом и осенью здесь нагуливается молодь мальмы, сима и кижуча. Рыбы укрываются за препятствиями, создающими зоны замедленного течения и затенения. Средняя плотность населения реки обычно составляет $0,2-0,5$ экз/м². Перед зимой большая часть рыбы скатывается на нижележащие участки с зимовальными ямами. На нерест в водотоки с горными руслами заходит жилая и проходная мальма, сима, ранний и поздний кижуч, кета поздней расы; реже — чавыча, летняя кета и нерка. Круглый год в районе нерестилищ держатся карликовые самцы мальмы и сима. Из-за однородности донного рельефа выраженного разделения нерестовых площадей разных видов рыб по формам рельефа, как на порожиисто-водопадных руслах, не отмечается.

На равнинных болотных руслах (рис. 1.25) однородность условий предопределяет небольшое разнообразие нагульных и нерестовых группировок. Размножается микижа (в том числе камчатская сёмга), поздний кижуч, а также хариус и колюшки. Летом на болотных руслах в небольших количествах нагуливается молодь этих же видов. Крупные рыбы, в том числе карликовые самцы гольцов и сима, как правило, не заходят. Молодь держится вдоль берегов на участках, где водную поверхность своими кронами затеняют деревья. Зимой глубокие ямы болотных русел используются рыбами всех возрастов, которые заходят сюда с соседних участков.

На блуждающих руслах лахаровых долин, распространённых в пределах вулканических территорий Камчатки (рис. 1.12, 1.21), донный рельеф отличается чрезвычайно высоким разнообразием и неустойчивостью. В этих условиях местообитания нестабильны и не могут использоваться рыбами из-за высокой мутности и интенсивного заиления. Возможен единичный, нередко абортивный нерест мальмы, кижуча и горбуши. В летние месяцы в реки вулканических территорий единично поднимается молодь гольцов, кижуча, сима и нерки. Многие реки вулканических территорий, особенно в пределах лахаровых долин, полностью непригодны для нереста и нагула лососей.

2.2.2. Водный режим и пересыхание рек

Главной чертой рек Камчатки, определяющей структуру и разнообразие ихтиоценозов, является крайне высокая временная неравномерность стока (см. гл. 1.1.2). Динамика водного режима лососёвых нерестовых рек, протекающих по территориям распространения пористых отложений, включает периоды обмеления и пересыхания придаточной системы (водоёмов и водотоков поймы), обмеления основных русел и рукавов, а также полного прекращения поверхностного стока. Молодь лососёвых рыб адаптирована к таким изменениям уровня стока. На этапе пресноводного нагула и зимовки она активно заселяет временные водоёмы и водотоки поймы. На разветвлённых участках мальки массово мигрируют из главных русел в боковые протоки, старицы и ключи, так как здесь создаются благоприятные условия обитания. Особая роль водоёмов придаточной системы в нагуле и зимовке молоди неоднократно показана [Giannico, Hinch, 2003; Bisson et al., 1988]. В Северной Америке обустройство боковых притоков входит в обязательную программу мелиорации и рекультивации нерестовых рек. Частичное

обсыхание пойменных местообитаний обычно не влечёт за собой массовой гибели молоди. Мальки остаются в «отшнурованных» водоёмах, имеющих подрусловую подпитку, и способны переживать изоляцию в течение нескольких недель. В паводки при восстановлении связи с руслами молодь уходит из таких водоёмов. Заморные явления в местах локального скопления рыб наблюдаются в лососёвых реках с естественным водным режимом довольно редко.

Падение уровня воды в руслах малых рек и ручьёв сопровождается сезонным увеличением биомассы водных макрофитов, которые задерживают детрит и влекомые наносы, вызывая тем самым переформирование донного рельефа и образование новых местообитаний для мелкой рыбы [Казмирук и др., 2004]. Увеличение плотности обитания ранней молоди часто происходит на фоне сокращения площади доступных нерестилищ [Gibbins et al., 2001]. На реках с нарушенным водосбором падение уровня может вызывать аккумуляцию органического материала и ухудшение условий среды обитания лососей.

Особая экологическая ситуация складывается на реках с полным эпизодическим исчезновением поверхностного потока (рис. 2.5 А). Во временных водотоках отмечаются пониженные показатели численности и разнообразия всех компонентов фауны, но при этом высокое пространственное и временное разнообразие мест обитания и водных экосистем [DelRosario, Resh, 2000; Lake, 2003; Bunn, Arthington, 2002; Datry, 2012]. Степень деградации сообществ определяется продолжительностью, частотой, скоростью наступления и амплитудой обсыхания, а также размерами русла [Magoulick, Kobza, 2003; Rolls et al., 2012]. Пространственное разнообразие и численность рыбного населения в районах пересыхания может в большей степени определяться не продолжительностью обсыхания, а случайным положением локальных убежищ, из которых каждый раз происходит быстрое расселение рыб в новые места обитания [Carvalho, Pires, 2012]. Состав ихтиоценоза на конкретном участке при этом определяется удалённостью центров расселения.



Рис. 2.5. Безрыбные русла рек Восточной Камчатки: А — с сезонным пересыханием; Б — с избыточной мутностью (фото Е. В. Есина)

Для бентосных беспозвоночных ключевую роль в восстановлении сообществ после пересыхания русел играют участки дна с сохраняющимся подрусловым потоком. Интенсивность использования и степень заселённости гипорегической зоны зависит от складывающихся абиотических условий и экологии таксонов [Boulton et al., 1998; Stubbington, 2012].

Например, слабо чувствительные к снижению концентрации кислорода планарии и архинеллиды заселяют межгалечное пространство значительно интенсивнее амфибиотических насекомых, предпочитая при этом места нисходящей фильтрации [DelRosario, Resh, 2000; Stubbington et al., 2011]. В некоторых исследованиях для личинок амфибиотических насекомых вообще не регистрируется рост их численности в грунте во время обсыхания русла [Datry, 2012]. При этом амфибионты могут быть адаптированы к активному дрейфу из мест падения уровня воды или переживать пересыхания на стадии яиц и куколок [Boulton et al., 1998].

Для рыб показаны видоспецифичные механизмы поведения в зависимости от чувствительности к изменению скорости течения, температуре и концентрации кислорода [Lake, 2003; Davey et al., 2006]. Наименьшей резистентностью к заморным явлениям обладает ранняя молодь, что показано на нескольких видах лососей [Elshout et al., 2013]. Из камчатских рыб наименее толерантны к заморным явлениям сима, чавыча, мальма. Реофильная молодь лососей в норме предпочитает мигрировать из мест падения уровня воды вверх по течению [Davey, Kelly, 2007], поэтому наибольшую опасность для неё представляют обсыхания, распространяющиеся вниз по течению. Интенсивность гибели молоди на галечных отмелях в таких случаях зависит от скорости осушения [Bradford, 1997], оставшиеся рыбы скапливаются в ближайших заполненных водой ямах [Davey et al., 2006; Davey, Kelly, 2007].

Многие реки Камчатки, отличающиеся сезонным и внутрисуточным режимом пересыхания, используются лососёвыми для воспроизводства. Например, в р. Китхажинец (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской), Западная Камчатка) в межень обсыхает несколько километров русла в среднем течении. Градиент уменьшения водности выше обсохшего участка составлял около 0,4 (м³/с)/км. Водный режим в верхнем течении имеет суточный ход. Днём за счёт таяния снега в горах водность речного потока увеличивается, протяжённость обсохшего русла начинает сокращаться. За счёт времени добегающего процесс продолжается до утра. Средняя скорость заполнения водным потоком сухого русла — 1–3 м/мин. На разных формах русла она сильно меняется — существенно замедляется при заполнении эрозионных ям и плёсов и ускоряется на перекатах. Во вторую половину дня вода снова «отступает».

Специфические условия водности делают возможным здесь нерест единственного вида рыб — гольца *Salvelinus malma*, производители которого проникают в верховья осенью при подъёме уровня воды. Несмотря на то что летом рыбное население в ручье оказывается полностью изолированным, в верховьях создаются крайне благоприятные условия для жизни молоди, что приводит к ускорению её роста по сравнению с другими реками этой территории. Молодь мальмы представлена всеми возрастными группами: от 0+ до 2+, встречаются половозрелые карликовые самцы в возрасте 2+ ... 4+. Численно преобладают сеголетки.

Наблюдения показали, что в половодье молодь отстаивается в многочисленных прибрежных убежищах с плотностью обитания до 2,0 экз./м². В межень рыба или остаётся в изолированных остаточных водоёмах (рис. 2.6), или уходит выше по течению на непересыхающие участки реки. В момент наименьшей водности средняя плотность молоди на плёсах достигает 2,0 экз./м², в ямах под берегом — 2,5 экз./м². Рыба активно питается: средний балл наполнения желудков (по 5-балльной шкале) составляет 2,3; пустые желудки встречаются единично. Большую часть корма бентосоядной молоди в это время обычно составляют имаго амфибиотических и прибрежных насекомых. Во время увеличения водности рыба начинает расселяться вниз по течению — стайки разновозрастной мальмы по 10–15 экз. отмечались уже в 20–30 м от края продвижения воды. После заполнения потоком акватории обсохшего русла (рис. 2.5) мальма равномерно распределялась по плёсам со средней плотностью 0,3 экз./м².

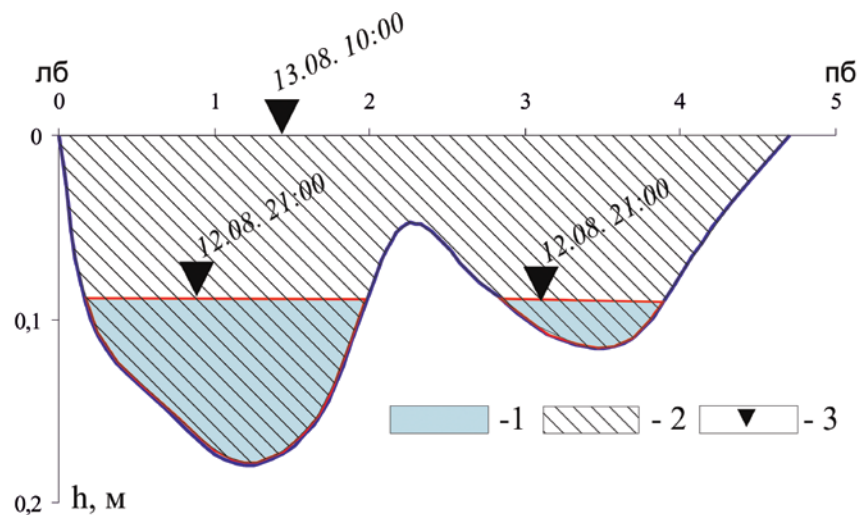


Рис. 2.6. Формирование «отшнурованных» водоёмов в поперечном профиле р. Китхажинец в условиях суточного прекращения стока.

1 — прекращение стока; 2 — пик суточной водности; 3 — уровень воды

Биологический анализ молоди показал, что, несмотря на специфические условия, рыбы имеют сравнительно высокие темпы роста. К началу августа, т. е. во время минимальной водности ручья, средняя длина (по Смитту) и масса тела двухлеток оказались соответственно на 25 и 18% выше, чем в ближайшем притоке р. Гольцовки, составив соответственно 103 мм и 9,3 г.

2.2.3. Мутность воды

Поступление минеральных частиц в речной поток является однозначно негативным фактором развития лососёвых рыб. Минеральные частицы с острыми гранями повреждают покровы гидробионтов, вызывая нарушения дыхания и солевого обмена, снижая резистентность к токсикантам и инфекциям [Русанов и др., 1990; Lloyd et al., 1987; Marks, Rutt, 1997]. Снижение прозрачности приводит к падению первичной продукции [Lloyd, 1987], затрудняет ориентировку и кормление рыб [Reynolds et al., 1989; Gregory, Northcote, 1993]. Многолетнее замутнение и заиливание изначально чистых водотоков приводит к тотальной деградации сообществ [Ebel, 1985; Sidle, Sharpley, 1991; Carol et al., 2002].

Воздействие минеральных взвесей на рыб в первую очередь заключается в истирании (повреждении) жаберного эпителия, что влечёт за собой гиперплазию жаберных лепестков, асфиксию и нарушения метаболизма [Sigler, 1990; Berg, Northcote, 1985]. Травма жабр у мальков нерки регистрируется уже при содержании в воде 3,2 мг/л песчаной взвеси [Servizi, Martens, 1987]. Концентрация взвеси 40 мг/л вызывает у мальков микижи кратковременное увеличение плавательной активности и частоты дыхательных движений, сменяющееся в течение нескольких часов снижением подвижности и угнетением дыхания [Русанов и др., 1990; Chiasson, 1993]. При концентрации 240 мг/л взвешенные частицы вызывают восьмикратное

увеличение частоты спазматических движений жаберной крышки, так называемый кашель [Servizi, Martens, 1992]. При 500 мг/л начинаются патологические изменения в составе крови и нарушения осморегуляции [Servizi, Martens, 1987; Redding et al., 1987].

В экспериментах пороговые значения летальных концентраций минеральных взвесей для лососёвых рыб сильно разнятся в зависимости от вида и стадии жизненного цикла, продолжительности воздействия и происхождения подопытных рыб, т. е. их изначальной адаптированности [Lloyd, 1987; Newcombe, MacDonald, 1991; Servizi, Martens, 1992; Carol et al., 2002; Bash et al., 2011]. Особо уязвимой оказывается икра на поздних стадиях развития и молодь в период выхода из грунта и смолтификации. В 2-дневных тестах 100% гибель личинок микижи от воздействия минеральной взвеси достигается при концентрации 1 200 мг/л, для мальков — 10 000 мг/л [Русанов и др., 1990], для взрослых рыб — 160 000 мг/л [Water quality..., 1965]. В 6-дневных тестах стабильный сублетальный эффект (изменение физиологических параметров) для личинок микижи регистрируется при концентрации 1,65 мг/л, 20% гибель (ЛК20) — при 90 мг/л. Для мальков и взрослых рыб сублетальная концентрация находится в диапазоне 33,1–90,0 мг/л, ЛК20 — 245–1 810 мг/л [Carol et al., 2002]. В 25-дневных тестах величина ЛК20 для взрослой микижи составляет 4 250 мг/л [Herbert, Merckens, 1961]. Гибель до 50% молоди тихоокеанских лососей в течение нескольких суток отмечается при достижении мутности 10 000 мг/л [Griffin, 1938], ранней молоди хариуса — при 400 мг/л [Reynolds et al., 1989].

Эффект от воздействия усугубляют повышение температуры и дополнительные стрессовые факторы [LeGore, DesVoigne, 1973; Servizi, Martens, 1992]. Особую опасность представляют взвеси с диаметром частиц менее 0,005 мм. Илы и глины налипают на жаберный эпителий или оболочку икры, снижая потребление кислорода в 2–3 раза [Русанов и др., 1990]. Такие частицы могут проникать через эпителий и оседать в циркуляторной сети жаберных лепестков, вызывая необратимые нарушения газообмена [Tazaki et al., 2003]. Для мальков микижи величина ЛК20 при суточном выдерживании во взвеси бентонитовой глины составляет всего 500 мг/л; при 10 000 мг/л все мальки погибают за 2 часа [Tazaki et al., 2003].

В природных условиях опасным для лососей становится продолжительное пребывание в воде с мутностью более 30 мг/л. Особенно страдают от превышения этого порогового показателя водные сообщества, населяющие реки с фоновой мутностью менее 10 мг/л. В составе взвеси таких водотоков в норме высока доля самых мелких глинистых и илистых фракций.

В североамериканских реках увеличение мутности с 20 до 230 мг/л и повышение доли взвешенного мелкого песка в течение 9 дней сразу после выхода личинок микижи из грунта вызывало увеличение смертности в 2,7 раза [Sharovalov, 1937]. При мутности 125 мг/л происходило снижение скорости роста молоди микижи и кижуча в 2–3 раза [Sigler et al., 1984]. Концентрация взвеси более 200 мг/л вызывало у молоди кижуча потерю территориального поведения [Berg, Northcote, 1985] и их откочёвку [Sigler et al., 1984]. По другим данным [Bisson, Bilby, 1982], молодь кижуча покидала свои места обитания при повышении мутности до 250 мг/л. Для рек Великобритании пороговые концентрации взвесей, приводящие к падению численности лососей, определены в диапазоне 100–300 мг/л [Herbert, Richards, 1963]. В условиях массового поступления минеральных частиц техногенного происхождения на реках доля нежизнеспособной молоди лососей с повреждёнными жабрами возрастает (рис. 2.7).

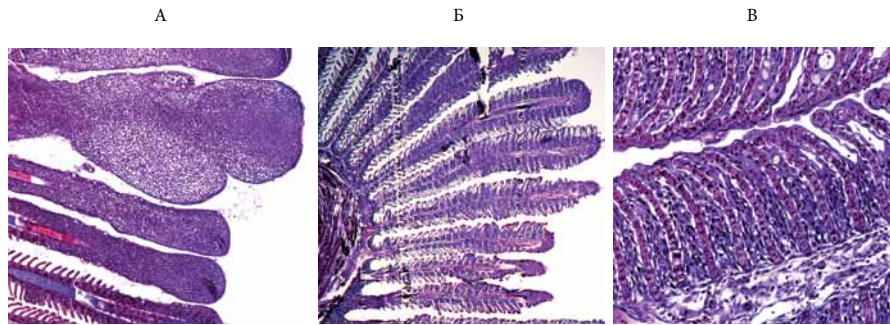


Рис. 2.7. Последствия повреждения жабр молоди лососей минеральными частицами: А — дисплазия тканей первичной ламеллы; Б — обширная гиперплазия вторичных ламелл на конце первичной ламеллы; В — слипание вторичных ламелл при гиперплазии межламеллярного эпителия

С загрязнённых участков происходит миграция нагульных скоплений рыб в чистые притоки, так как помимо механического повреждения покровов и нарушения метаболизма взвеси оказывают на рыб опосредованное воздействие через ухудшение условий обитания. Взвеси затрудняют обнаружение пищевых объектов при помощи зрения. Показано, что молодь хариуса и чавычи полностью перестаёт питаться при мутности 500–1000 мг/л [Reynolds et al., 1989; Gregory, Northcote, 1993], интенсивность питания лососёвых рыб в озёрах снижается на 30% при замутнении воды до 10 мг/л [Maур, 2002]. Даже минимальное заилиение снижает доступность кормовых объектов для молоди лососей, питающейся бентосом, и приводит к замедлению скорости её роста [Suttle et al., 2004].

2.2.4. Состав донного субстрата и заилиение

Лососи высокочувствительны к фракционному составу нерестового субстрата. На стадии размножения производители видоспецифично распределяются по участкам дна вокруг гребней перекатов. Помимо направления фильтрации потока через дно представители разных видов выбирают субстрат с подходящей крупностью частиц. Так, на примере места одновременного массового нереста лососей в среднем течении бассейна р. Караги (Восточная Камчатка) установлено, что горбуша концентрируется на участках перед перекатами с высокой долей гравия. Более крупная кета выбирает места под перекатами с высокой долей гальки, причём она менее чувствительна к содержанию в нерестовом субстрате самых мелких фракций. Голец занимает периферийные зоны нерестилищ горбуши на незаиленных участках с песком и мелким гравием.

Аналогичная картина распределения производителей этих видов по нерестовым участкам наблюдается в боковых протоках (табл. 2.1). Очевидно, что обнаруженная закономерность связана с распределением глубин и скорости течения и размерно-весовыми характеристиками рыб, и она способствует расхождению видов в пространстве, увеличивая эффективность воспроизводства и способствуя более полному освоению среды. Повсеместно на Камчатке нерестилища поздней кеты, кижуча и реофильной нерки, совместно размножающиеся на выходах грунтовых вод в пойменных протоках, оказываются локализованы в разных микробиотопах.

Таблица 2.1. Средний фракционный состав (%) нерестовых бугров лососей в месте одновременного массового нереста в нижнем течении р. Эруваямы (бассейн р. Караги)

Фракции, мм	Основное русло			Пойменная протока		
	горбуша	кета	голец	горбуша	кета	голец
50–100	37,9 35,0	34,4	10,5	33,7	28,5	0
20–50	27,1 24,0	36,9	13,2	24,2	40,2	5,9
2–20	22,6 30,3	15,8	25,3	32,4	16,7	37,5
1–2	5,5 6,2	5,6	34,1	5,8	5,9	34,8
0,1–1,0	5,3 3,5	4,7	16,1	3,2	3,9	20,6
< 0,1	1,6 1,0	2,6	0,8	0,7	4,8	1,2
d, мм	36,18 30,05	41,18	16,58	28,35	37,78	8,32

Для горбуши дан состав бугров в медиали (над чертой) и рипали (под чертой); d — средний диаметр частиц

Повторное перекапывание нерестовых гнёзд другими видами при отсутствии сильного заилиения происходит только при заходах чрезмерного количества производитель, когда ёмкости собственных нерестилищ становится недостаточно.

На реках в пределах вулканических территорий, дно которых сложено пористым пирокластическим материалом, наблюдается снижение плотности донного грунта и его стабильности. Так, в р. Бармотиной, стекающей с Семьячкского вулкана (Кроноцкий залив), плотность грунта в 1,5 раза ниже, а расход влекомых по дну наносов выше, чем в соседних водотоках. Включение пирокластического материала в состав русловых отложений, сложенных эффузивными породами, также снижает среднюю крупность аллювия. Например, руслообразующие наносы р. 1-й Мутной у подножия Авачинского вулкана имеют среднюю крупность 2,2 см против 3,5 см в соседних невулканических реках того же размера. Замещение стабильного галечно-гравийного субстрата на подвижный песчано-гравийный приводит к постоянному переформированию донного рельефа, движению гряд и уничтожению нерестовых бугров с развивающейся икрой. В реках Кроноцкого залива с подвижным песчаным дном плотность нереста горбуши, по сравнению с соседними водотоками, в несколько раз ниже [Есин, 2012]. При этом производители при сооружении гнёзд расчищают значительные по площади участки дна до подстилающей отмостки, а их бугры формируются из крупной гальки, которая ранее была погребена под толщей песчаных наносов. Площадь гнёзд в 2–3 раза больше, чем в реках с типичным дном.

Общим для всех лососей является выбор для нереста незаиленных участков, так как частицы мельче 0,8–1,0 мм сильно ухудшают водообмен в нерестовом субстрате [Charman, 1988; Tappel, Vjornn, 1983; Леман, 2003]. Заходя в ключи с заиленным дном, первые пары производителей всегда выбирают участки ближе к выходам грунтовых вод, где слой ила меньше. Проточность грунта является для них важным

ориентиром при выборе места размножения, а заиление приводит к снижению интенсивности вертикальной фильтрации воды через грунт. При сильном заилении площадь используемых нерестилищ сокращается [Леман, 1990; Stuart, 1953], производители концентрируются на оставшихся пригодных участках. Выявлено [Hartman et al., 1996], что постоянное антропогенное заиление дна приводит к полной потере нерестового фонда верхних звеньев водной сети.

Адсорбция частиц на поверхности икры тормозит газообмен и отведение метаболитов [Everest et al., 1987]. Критическим для развития эмбрионов является содержание в грунте 25–30% фракции мельче 1 мм [Coble, 1966; Леванидов, 1981]. Средняя выживаемость икры тихоокеанских лососей в таких условиях не превышает 20% [Леман, 1990; Turnpenny, Williams, 1980]. Выживаемость икры нерки при содержании в грунте более 50% частиц мельче 0,5 см составляет менее 10% [Cooper, 1965].

В местах добычи минерального сырья на Камчатке мелкофракционные наносы в больших количествах оседают в руслах нерестовых рек в период минимального уровня воды, совпадающего по времени с эмбриональной стадией развития лососей. По разным данным, повышение мутности до 35 мг/л в период инкубации икры тихоокеанских лососей вызывает снижение выживаемости до 2% [Cooper, 1965] или 24% [Галасун, Булатович, 1976]. При образовании поперек нерестовых гнёзд наилка толщиной 1 мм смертность икры микижи увеличивается на 70% [Русанов и др., 1990]. Гибели икры на заиленных нерестилищах способствует ускоренное распространение паразитического гриба сапролегнии [Русанов и др., 1990]. В случаях, когда наилок образуется уже после вылупления, увеличение смертности по сравнению с контролем обычно не регистрируется, так как свободные зародыши способны активными движениями усилить ток воды [Shaw, Maga, 1943; Stuart, 1953]. При этом кислородное голодание вызывает снижение средних размеров выходящей из грунта молоди, что влечёт за собой повышенную смертность во время ската [Holtby et al., 1989]. В итоге постоянное заиление лососёвых рек в диапазоне 40–100 мг/л вызывает падение рыбопродуктивности в 2–3 раза [Зюсько, Матвеев, 1986; Hartman, Scrivener, 1990].

Ещё более чувствительны к заилению представители литореофильной бентофауны лососёвых рек — молски, ручейники, некоторые виды хирономид из п/сем. Diamesinae и Orthoclaadiinae, веснянки Chloroperdinae [Wagener, LaPerriere, 1985]. Концентрация глинистой взвеси 20 мг/л уже в первые часы вызывает активизацию дрейфа веснянок, подёнок и гаммарусов [Русанов и др., 1990]. Залповые скачки мутности до 695–705 мг/л сопровождаются двукратной интенсификацией миграции бентоса [Shaw, Richardson, 2001]. У личинок *Chironomus sp.* массовую миграцию вызывает 70 мг/л взвеси, при этом дальнейший рост мутности до 100 мг/л приводит к увеличению смертности по сравнению с контролем в 17 раз. Для мотыля 100% смертность в острых тестах обеспечивается при 150 мг/л взвеси, тогда как у олигохет эта концентрация вызывает гибель 70% особей [Русанов и др., 1990].

Наилок уничтожает перифитон, снижает доступность листового опада и детрита для беспозвоночных, лишает бентос местообитаний [Волкова, 1987; Williams, 1980; Williams et al., 1977; Allan, 1987]. Исследование влияния антропогенного заиления лососёвых рек показало, что на первых этапах исчезновение наименее толерантных таксонов сопровождается соразмерным ростом численности других групп рыб [Leman, Chebanova, 2005]. На поздних этапах деградации отмечается замещение более 80% первоначального состава фауны на представителей Oligochaeta и Diptera [Lenat, Crawford, 1994], плотность бентоса при этом снижается в 10–15 раз [Wagener, LaPerriere, 1985].

2.2.5. Древесные заломы

Заломы разного типа и генезиса формируют особые по скоростному режиму и морфологии зоны. Наибольшую роль заломы играют в жизнедеятельности реофильных организмов, адаптированных к условиям быстрого течения. Молодь тихоокеанских лососей и голецов с продолжительным пресноводным периодом жизни обитает в заламах лососёвых рек круглогодично [Чалов и др., 2010a]. Нагул молоди лососёвых рыб происходит преимущественно в пределах горных и полугорных рек, где зоны замедленного течения формируются только на участках заломов, что определяет возможность укрытия здесь рыб. При высоких скоростях потока молодь активно использует зоны замедленного вихревого течения среди стволов и веток, поэтому плотность обитания лососей в заламах зачастую в десятки раз превышает таковую в открытом русле.

Наблюдается сезонная динамика использования заломов. Зимой рыба скапливается в крупных русловых заламах, препятствующих продвижению льда в толще воды во время шугоходов [Sunjak, 1996; наши наблюдения]. Весной, во время половодья, небольшие заломы в русле не способны сдержать поток, и молодь уходит в крупные и засоренные заломы, расположенные на временно затопленных оголовках островов и в пойменных протоках [Kunze, 1998]. Летом в горных и полугорных лососёвых водотоках Камчатки при почти полном отсутствии молоди на стрежне в заламах у коренного берега скопления рыб могут достигать плотности 10–20 экз/м², при этом плотность рыб в заламах достоверно выше, чем на открытых отмелях (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Распределение молоди лососёвых рыб в водотоках бассейна р. Большой (Быстрой Малкинской, Западная Камчатка) в июле (по данным обследований 2003–2007 гг.)

Тип руслового процесса	Морфодинамический тип русла	Кол-во обследованных участков, шт.	Средняя плотность молоди рыб, экз/м ²		
			на перекатах / порогах	на отмелях	в заламах
Равнинный	меандрирующее	7	0,1 – 1,2 0,5 ± 0,1	0,3 – 1,4 0,7 ± 0,2	0,5 – 2,2 1,2 ± 0,3
Полугорный	меандрирующее	1	0,4 ± 0,1	0,9 ± 0,3	1,5 ± 0,4
	разветвлённое	3	0,0 – 0,2 0,1 ± 0,0	0,5 – 1,0 0,7 ± 0,2	2,0 – 2,7 2,2 ± 0,5
Горный, РАФ	меандрирующее	3	0,1 – 0,3 0,2 ± 0,0	0,4 – 1,9 1,1 ± 0,3	0,7 – 2,5 1,7 ± 0,4
	разветвлённое	6	0,0 – 0,3 0,1 ± 0,0	0,5 – 5,4 2,8 ± 0,5	0,8 – 10,0 3,6 ± 0,9
Горный, НРАФ	меандрирующее	8	0,0 – 0,1 0,0 ± 0,0	0,2 – 1,5 0,6 ± 0,2	0,2 – 3,5 1,4 ± 0,4
	разветвлённое	3	0,0 – 0,2 0,1 ± 0,0	0,2 – 5,0 2,1 ± 1,0	0,3 – 20,0 7,1 ± 1,3

РАФ — русла с развитыми аллювиальными формами, НРАФ — русла с неразвитыми аллювиальными формами; над чертой — пределы варьирования, под чертой — среднее ± ошибка

2.3. Влияние лососёвых рыб на среду нерестовых рек

Реки Камчатского полуострова имеют ведущее значение в воспроизводстве запасов тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*. Здесь функционируют крупнейшие сохранившиеся в мире природные популяции. Являясь уникальным объектом с точки зрения биоразнообразия и запасов рыбных ресурсов, камчатские реки отличаются специфической ролью рыб в формировании и развитии речного русла.

Ихтиологический фактор русловых процессов связан с особенностями жизненного цикла тихоокеанских лососей, к которым относятся:

- массовый характер захода лососей на нерест в те же реки, где они вывелись из икры, а также относительно сжатые сроки захода (рис. 2.8);
- закапывание икры в галечный грунт и взмучивание тонких фракций отложений;
- массовая гибель отнерестившихся особей.



Рис. 2.8. Массовый (рунный) нерестовый ход кеты (фото Т. Г. Точилиной)

Первые два процесса определяют прямое воздействие идущих на нерест лососей на русла рек. При массовых заходах всё живое сечение рек заполняется рыбой, что сопровождается изменением гидродинамических характеристик потока, а также интенсификацией процессов береговой и донной эрозии [Ермакова, 2009б].

В 2000-е гг. численность лососей в Северной Пацифике достигла исторического максимума, дальнейший её рост вряд ли возможен. Накопленные за этот период данные подтверждают колоссальную роль анадромных лососей в формировании собственных нерестово-выростных биотопов и особенностей функционирования речных экосистем. Для Аляски и Британской Колумбии выявлено, что трупы тихоокеанских лососей становятся основным источником обеспечения устойчивого функционирования экосистем лососёвых рек [Willson et al., 1998]. Хотя на Российском Дальнем Востоке подобные экосистемные исследования только начинаются, логично ожидать получения сходных результатов.

2.3.1. Ихтиологический фактор русловых процессов

Тип нереста, при котором рыба закапывает икру в аллювий и создаёт специфические микроформы руслового рельефа — нерестовые бугры, определяет переработку большого количества русловых отложений. При этом для нереста лососями необходим гравийно-галечный состав аллювия. Илестые частицы оказывают негативное влияние на развитие икры, поэтому при сооружении нерестовых гнёзд рыбы проводят работу по очистке русловых отложений от мелкого материала, переводя его во взвесь. Каждая нерестующая пара строит как минимум одно нерестовое гнездо, при этом разные виды тихоокеанских лососей перекапывают от 0,1 м³ (горбуша) до 0,4 м³ (чавыча) грунта, или 200–870 кг аллювия. В результате, по имеющимся оценкам, расход влекомых наносов может возрастать в 10–20 раз [Scrivener, Macdonald, 1998; Hassan, 2008; Чалов С.Р., 2011], взвешенных — в 2–3 раза. По мере повышения плотности производителей с 0,01 до 0,13 экз/м² дна на нерестилищах в р. Старый Семячик [Чалов С.Р. и др., 2014] произошло скачкообразное увеличение расхода сначала взвешенных, а затем влекомых наносов (рис. 2.9). Раскопка лососьями нерестовых ям (т. н. гнёзд) индивидуальной площадью 0,3–0,7 м² привела к выводу из состава русловых отложений мелкодисперсных фракций, определивших рост стока взвешенных наносов. Разрушение аллювиальной отмостки вызвало скачкообразный рост расхода влекомых наносов. Плотность нереста и расход влекомых наносов демонстрировали синхронное изменение (рис. 2.9). Известно, что в этих условиях в 3–5 раз возрастает крупность руслового аллювия за счёт вымывания мелких фракций [Petticrew, Albers, 2010; Чалов С.Р., 2011]. Сходные данные по рекам разных регионов [Scrivener, Macdonald, 1998; Hassan et al., 2008] свидетельствуют о том, что объём транспортируемых влекомых наносов в результате нереста лососёвых рыб составляет 25–40% от общего годового стока. При этом в период нереста может происходить переформирование до 40% площади дна рек.

Итак, нерест лососёвых рыб способствует улучшению водообмена в грунте [Семко, 1954; Смирнов, 1975], сортировке и разрыхлению наносов, выведению илестых фракций из их состава [Lorenz, Eiler, 1989].

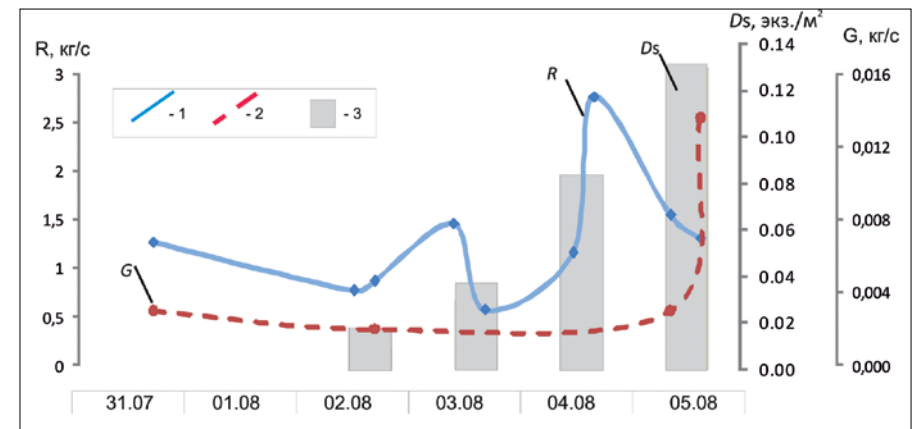


Рис. 2.9. Сопоставленные графики расхода взвешенных R (1) и влекомых G (2) наносов и заполнения нерестилища Ds (3) исследуемого участка р. Старого Семячика [Чалов С.Р. и др., 2014а]

Особо интенсивно процессы размыва русловых отложений за счёт нерестовой деятельности лососей протекают в пойменных протоках, дно которых перед началом нереста покрыто слоем ила, образовавшегося вследствие разложения растительных остатков, отмирающих организмов зоо- и фитобентоса и т. п. В период нереста происходит полная очистка русла от тонкодисперсных фракций, и дно оказывается сложено чистым галечником. По оценкам Р.С. Семко [1954], за период нереста кеты и горбуши только из одной пойменной протоки р. Большой (Быстрой Малкинской) было вынесено около 1000 т ила.

2.3.2. Внесение морских биогенов в речную экосистему

Все тихоокеанские лососи погибают после нереста (рис. 2.10). В результате в реки поступает на 23 порядка больше органического материала, чем выносится молодью в море [Леванидов, 1981]. Избыточное поступление биогенного вещества приводит к его последующему накоплению на обсыхающих побочнях, осередках, на пойме. В итоге повышается продуктивность растительных сообществ; увеличиваются темпы сукцессии на обсыхающих формах русла, что приводит к быстрой их трансформации в пойме и смене одного типа русла другим (например, осередковых разветвлений — русловыми разветвлениями).



Рис. 2.10. Реки Восточной Камчатки после массового нереста лососей (фото Е.В. Есина)

Помимо отмеченного изменения режима русловых переформирований и стока наносов, меняется гидрохимический режим рек — в воде снижается количество кислорода, увеличивается содержание углекислоты, снижается pH [Семко, 1939], возрастает концентрация аммония и фосфата [Семко, 1939; Chaloner et al., 2004]. Разложение тел лососей после нереста приводит к привнесению в бедные биогенами и микроэлементами экосистемы азота, фосфора, а также кальция, количество которых в норме лимитирует первичную продукцию [Mathisen et al., 1988; Naiman et al., 2002]. При этом если органический азот может поступать в экосистемы путём фиксации атмосферного газа клубеньковыми бактериями корней пойменных растений, то многие микроэлементы, в том числе кальций, поступают в реки с телами анадромных рыб в биологически более доступной форме [Perrin et al., 1987; Thomas et al., 2003].

Обнаружена достоверная разница между концентрацией азот- и фосфорсодержащих органических соединений в грунтовых водах в годы неурожайных и урожайных поколений горбуши [Кузищин и др., 2012]. Уже через 1,5–2 недели после появления снёнки ниже нерестилиц отмечается рост автохтонной первичной продукции и биомассы водорослей [Minakawa, Gara, 1999; Wipfli et al., 1999; Chaloner et al., 2004]. Из рек с заводками [Ben-David et al., 1998], с подрусловыми и грунтовыми водами [O'Keefe, Edwards, 2003], а также посредством растаскивания тел лососей наземными животными [Hilderbrand et al., 2000; Ben-David et al., 2004] «морские» биогены распространяются по долинам. По нашим данным, в нерестовых реках Западной Камчатки наиболее высокая концентрация растворённых органических соединений регистрируется в боковых протоках и старицах. Зимой поступившие в воду органические вещества консервируются на дне и накапливаются в грунте, в частности за счёт образования комплексов (флокуляции) с веществом неорганического происхождения [Pinau et al., 2009]. Во время половодья следующего года биогены разносятся по нижнему течению, обогащая эстуарии и морское побережье. В это время (май–июнь) в камчатских реках регистрируется наибольшая концентрация растворённого органического фосфора [Введенская, Травина, 2008].

С телами производителей в реки, как упоминалось, доставляется значительно большее количество органического вещества, чем уносится молодью в море [Леванидов, 1981; Золотухин, 2001]. Например, в телах погибшей после нереста нерки содержится 16% белка и около 3,5 кДж энергии на 1г сырой массы [Hendry, Berg, 1999]. В число прямых потребителей анадромных лососей входят многие виды млекопитающих и птиц, в частности в рационе бурого медведя лососи являются наиболее важным источником белка [Лобков, 2008; Hilderbrand et al., 2000; Ben-David et al., 2004]. Молодь и жилые рыбы во время нереста скапливаются ниже нерестилиц, поедая не попавшую в бугры икру [Гриценко, 2002; Chaston, 1969] и вымытые во время нереста бентосные организмы [Кольцов, 1995]. В постнерестовый период молодь лососей с продолжительным пресноводным периодом жизни может питаться мышечной тканью разлагающейся снёнки, например, у кижуча её доля в рационе осенью достигает 30% [Введенская, Травина, 2008; Кириллова, 2008], зимой — 50 и более % [Bilby et al., 1998; Lang et al., 2006]. Мёртвые лососи также являются кормом для бентосных амфибионтов экологических групп измельчителей и коллекторов [Леванидов, 1981; Chaloner, Wipfli, 2002]. Полное разрушение (до костей) тел лососей обычно происходит в течение 12–14 дней при температуре воды около 8°C или за 9–10 дней при температуре 10–11°C. При массовых заходах основным путём деструкции становится естественное гниение тканей и деятельность бактерий. На поверхности трупов в начальной стадии разложения (на 4–6-й день после гибели рыбы) часто находятся личинки ручейников и хирономид, однако позже они покидают труп по мере образования толстой бактериальной плёнки на его поверхности. Небольшая часть трупов (15–18% в разных участках реки) выносятся течением на галечниковые косы, где они быстро разрушаются личинками мух [Кузищин и др., 2012].

Зарегистрирована связь между скоростью заселения личинками амфибионтов нерестилиц после нереста и биомассой снёнки на них [Wipfli et al., 1999; Nonea, Gara, 2009]. Отмечается, что личинок ручейников на нерестилицах в 7–37 раз больше, чем на соседних участках лососёвых рек [Walter et al., 2006]. Множественные исследования доказали, что в олиготрофных речных экосистемах объём привносимого лососьями органического вещества определяет биомассу бентоса [Богатов, 1994; Бугаев, Дубынин, 2002; Nonea, Gara, 2009; Cederholm et al., 1999 и др.]. Из коротких нерестовых рек часть снёнки сносится потоком и утилизируется

в морском побережье. В таких случаях отмечается положительная корреляция между массой нереста и продукцией прибрежных гарпактирид, которые служат пищей скатившимся лососям [Fujiwara, Highsmith, 1997].

Количественный вклад тел анадромных лососей в формирование биомассы организмов всех трофических уровней в речных экосистемах можно оценить по изотопному составу азота и углерода [Gende et al., 2002]. Особенности биогеохимических циклов этих элементов приводят к тому, что в морских и пресных водах соотношение изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ значительно различается. В результате данные по соотношению изотопов азота и углерода правомочно использовать для определения структуры пищевых сетей и направления потока органической материи в экосистемах [Owens, 1987; Peterson, Fry, 1987]. Изотопный состав азота также позволяет отследить поток органической материи от продуцентов до консументов разного трофического уровня, поскольку содержание ^{15}N увеличивается на 3–4‰ при переходе на каждый следующий трофический уровень [Minagawa, Wada, 1984]. Таким образом, соотношение изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ является своеобразной записью источников формирования биомассы организмов, а анализ содержания стабильных изотопов позволяет проследить пути включения биогенов морского происхождения в циркуляцию органического вещества в пресноводных и наземных экосистемах [Kline et al., 1990; Bilby et al., 1996].

Американские исследователи, к примеру, выявили, что на постоянных нерестовых участках рек северо-западного побережья США при средней плотности заходов 24 тыс. производителей на 1 км русла доля «морского» азота в листьях большинства видов пойменных растений изменяется от 45 до 65%, при средней плотности производителей 22 тыс./км в листьях прибрежных растений содержится 12–48% «морского» азота [Mathewson et al., 2003], а при нересте менее 1 тыс. производителей на 1 км в среднем в листьях содержится 17,5% азота морского происхождения [Bilby et al., 1996]. В горбушевых реках Аляски, где переполнение нерестилищ наблюдается не чаще чем раз в несколько лет, доля «морского» азота в листьях составляет 12–32% [Helfield, Naiman, 2001]. Благодаря разнесению тел лососей паводками и животными тяжёлый азот фиксируется на удалении до 500 м от русел [Scott et al., 2003]. На берегах рек вблизи нерестилищ деревья растут вдвое быстрее по сравнению с участками без нерестилищ лососей [Helfield, Naiman, 2001]: если в первом случае толщины ствола 0,5 м ель *Picea sitchensis* достигает к 86 годам, то во втором — к 307. Обильный рост прибрежной растительности способствует увеличению биомассы поступающего в реки листового опада, которым питаются бентосные организмы [Cummins et al., 1989]. В реках национального парка Олимпик (США, штат Вашингтон) в среднем 6% азота в телах личинок веснянок-микроизмельчителей имеет морское происхождение [Winter et al., 2000].

При сравнении изотопного состава различных биоорганических компонентов экосистем нерестовых рек Камчатки (неопубликованные данные ФГУП «КамчатНИРО»), различающихся численностью анадромных лососей, было обнаружено, что в районах с высокой плотностью нереста органические илы, донные беспозвоночные, растения низкой поймы и молодь рыб имеют более высокое содержание изотопов (рис. 2.11). Отдельные компоненты экосистем отчётливо разделяются по соотношению изотопов азота. В частности, растения низкой и высокой поймы в пространстве соотношения стабильных изотопов азота и углерода образуют слабо перекрывающиеся области. Все компоненты экосистемы реки вне зоны нереста анадромных лососей имеют более низкий изотопный статус. Растения высокой и низкой поймы образуют единую компактную область.

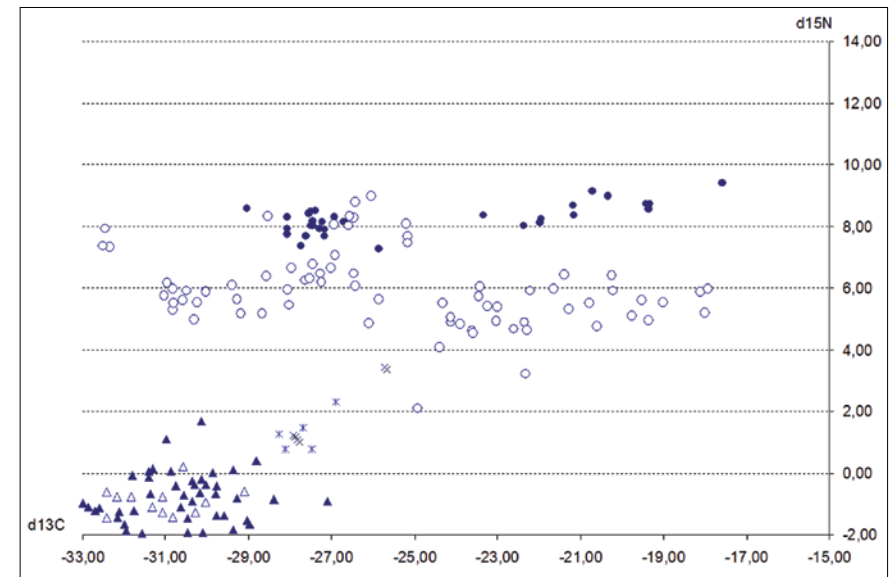
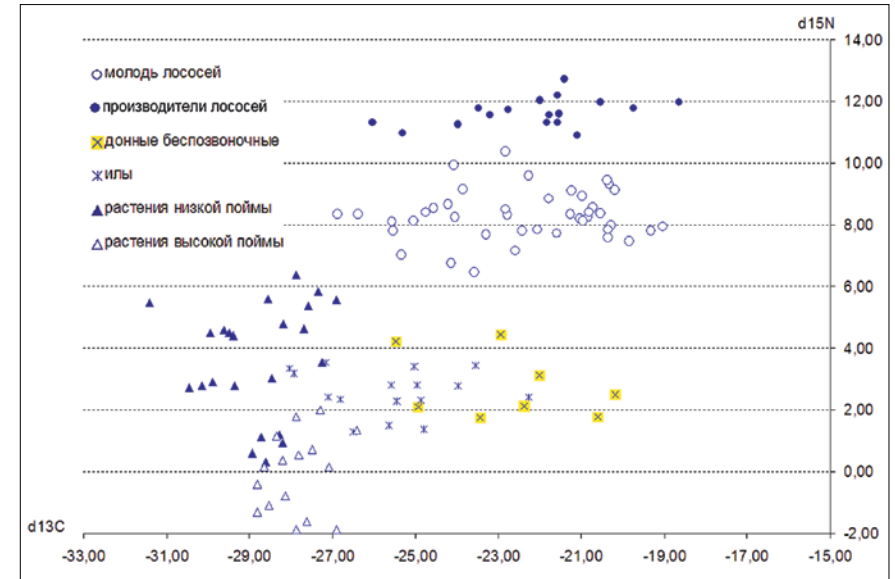


Рис. 2.11. Распределение различных биоорганических компонентов экосистем лососёвых нерестовых рек Камчатки по изотопному составу углерода и азота, ‰ ^{13}C и ^{15}N : вверху — участок с массовым нерестом анадромных лососей (р. Плотникова), внизу — участок с нерестом только жилых лососей (исток р. Кроноцкой)

Ниже по течению от непреодолимых для проходных лососей порогов, в зоне нереста горбуши содержание ^{15}N в органических илах этой же реки повышается в 3,9 раза, «морской» азот выявляется даже в составе листвы паркового древостоя на водоразделе.

Участвуя в формировании кормовой базы, производители лососей опосредованно влияют на рост, а значит, и численность молоди с продолжительным пресноводным периодом жизни. Установлена связь между биомассой снёнки и скоростью роста, а также выживаемостью зимой в реках молоди кижуча, микижи и мальмы [Wirfli et al., 2003; Lang et al., 2006; Daniel et al., 2012]. Для рек Северо-Западной Америки доказана положительная корреляция между численностью покотников у видов с продолжительным периодом жизни и величиной заходов горбуши [Michael, 1995; Daniel et al., 2012]. Таким образом, массовый нерест тихоокеанских лососей играет комплексную роль, его воздействие в целом увеличивает стабильность и продуктивность речных экосистем [Marcot et al., 1997; Marcot, Vander Heyden, 2001].

Так ихтиологический фактор русловых процессов на нерестовых реках Камчатки складывается из совокупности средообразующей роли идущих на нерест и нерестящихся лососей и привноса органического вещества на поймы рек с последующим активным развитием растительности.

Сообщества лососёвых рыб адаптированы к существованию в условиях повсеместного проявления опасных русловых процессов. При этом самые продуктивные местообитания оказываются приурочены к участкам пойменно-русловых разветвлений, среди рек Камчатки отличающихся максимальной неустойчивостью и, следовательно, наибольшей выраженностью опасных природных процессов. Иначе говоря, интенсивные русловые процессы не являются лимитирующим экологическим фактором, ограничивающим воспроизводство лососёвых рыб. В то же время многие реки вулканических территорий как с устойчивыми, так и неустойчивыми руслами оказываются полностью непригодны для нереста и нагула лососей. Определяющими здесь оказываются другие региональные факторы среды, формируемые под влиянием вулканической деятельности, — в основном химизм воды и мутность.

3.1. Общая характеристика и типовые проблемы

Для экономики Камчатского края приоритетными считается рыбохозяйственный комплекс, въездной туризм, добыча и переработка полезных ископаемых. Одновременно заявленное снятие инфраструктурных ограничений [Стратегия... 2008] экономического развития предполагает перевод электроэнергетики на местные энергоресурсы и развитие транспортной инфраструктуры, что определяет развитие гидроэнергетики, нефтегазового комплекса, автодорожной сети, коммунально-бытового хозяйства. Освоение речных долин обуславливает возникновение проблемы защиты населённых пунктов от опасного воздействия речных вод. Во всех случаях русла и поймы рек оказываются подвержены масштабному инженерному строительству.

В настоящей книге исследование учёта русловых процессов для минимизации их опасных проявлений и снижения воздействия на состояния сообществ лососёвых рыб выполнено на примере 5 типовых видов хозяйственной деятельности в руслах и поймах камчатских рек:

- строительство переходов автодорог через реки;
- строительство переходов трубопроводов через реки;
- организация защиты населённых пунктов от проявлений опасных русловых процессов;
- эксплуатация прирусловых водозаборов подземных вод;
- организация устойчивого речного рыбного промысла.

Опыт осуществления каждого из указанных видов хозяйственной деятельности на реках Камчатки проанализирован с точки зрения их распространения и типовых технических и экологических проблем эксплуатации. Нашим посылом была демонстрация типовых форм опасных проявлений русловых процессов, научное обоснование предотвращения которых должно быть специальной задачей при организации любой хозяйственной деятельности в долинах рек.

3.1.1. Строительство автомобильных дорог

Общая протяжённость автомобильных дорог на Камчатском полуострове — 3014,04 км, из них 47,5 км — федерального значения (А401 Морской порт — Аэропорт), 1875,82 км — регионального значения, 1090,72 км — местного значения (рис. 3.1). Дорогами соединены города Камчатки: Петропавловск-Камчатский, Елизово, Вилючинск, а также населённые пункты в пределах долин рек Камчатки, нижнего течения Авачи, Большой (Быстрой Малкинской), Плотниковой и Паратунки.

Дорожная сеть на Камчатке развита преимущественно по долинам крупнейших рек, что обусловлено концентрацией населения по их берегам. Соответственно через реки проложены многочисленные мосты. Основные автодороги ориентированы параллельно основным рекам Камчатского края — Камчатки, Быстрой Малкинской, Плотниковой, Авачи и Паратунки (рис. 3.2), поэтому большинство мостовых переходов расположены при пересечении автодорогами притоков этих рек. Ряд автодорог приурочены к изолированным населённым пунктам. Так, например, отдельная автодорога соединяет два посёлка — Озерновский и Запорожье, пересекая одну из крупнейших рек Западной Камчатки — Озёрную.



Рис. 3.1. Линейные объекты Камчатки и крупнейшие пересекаемые реки

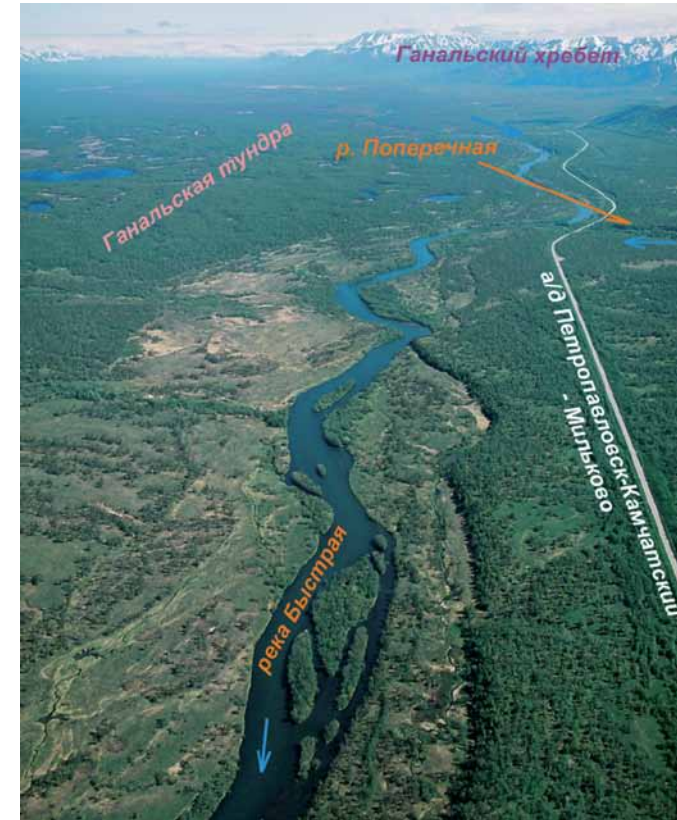


Рис. 3.2. Типичное для Камчатки положение автотрассы вдоль речной долины (фото А.В. Улатова)

Главной проблемой автодорог Камчатского края всегда считалось плохое состояние полотна. Под воздействием морозов и сильной влажности дорожное полотно легко деформируется. В этих условиях развитие дорожной сети происходило медленно, что привело к созданию зимников, на которых проезды через водотоки осуществляются по временным мостам или вброд, а через крупнейшие реки действуют паромные переправы. В частности в активно освоенном западном побережье Камчатки организованы паромные переправы в устьях рек Большая (Быстрая Малкинская), Опаля и др. Это позволяет иметь постоянное транспортное сообщение между прибрежными посёлками.

В настоящее время в Камчатском крае действует 160 автомобильных мостов общей протяжённостью 6 км. Самым длинным, 445 м, является мост через р. Камчатку автодороги Мильково — Ключи — Усть-Камчатск выше пос. Козыревска, открытый в 2012 г. (рис. 3.3). Этот мост соединил Усть-Камчатский район постоянным сообщением с центром Камчатского края. До этого переход указанной автодороги через р. Камчатку работал в режиме паромной переправы, при этом весной и осенью, во время ледостава и ледохода, движение прекращалось. Перерыв в транспортном сообщении составлял до трёх месяцев.



Рис. 3.3. Крупнейшие мостовые переходы через реки Камчатки: А – р. Камчатка (а/д Мильково – Ключи – Усть-Камчатск) (фото с сайта www.primamedia.ru); Б – р. Авача (а/д Петропавловск-Камчатский – аэропорт) (фото С.Р. Чалова); В – р. Плотникова (а/д с-з Начикинский – с. Усть-Большерецк – пос. Октябрьский) (фото С.Р. Чалова); Г – р. Озёрная (а/д пос. Озерновский – пос. Запорожье) (фото Д.И. Школьного)

Русловые деформации

Основным и наиболее опасным фактором снижения стабильности мостовых переходов через реки являются русловые деформации. Специфика распространения факторов русловых процессов предопределяет преобладание слабоустойчивых типов русел в местах пересечения их мостами. Ряд автодорог пересекает пойменно-русловые разветвления Авачи, Быстрой Малкинской (Большой), Андриановки, для которых характерны высокие темпы размывов берегов (до 40 м/год) и где высока вероятность переформирования русловой сети. Автодорога Мильково – Ключи – Усть-Камчатск проходит в непосредственной близости от основных действующих вулканов Камчатки (Ключевской сопки, Шивелуч, Безымянного и др.) и пересекает лахаровые русла, отличающиеся аномальной неустойчивостью (табл. 3.1).

На широкопойменных реках в предгорной зоне Камчатки распространённым явлением стало влияние мостовых опор на структуру водного потока, приводящее к накоплению наносов, образованию осерёдков и древесных заломов непосредственно возле них. Этому способствуют активные русловые переформирования на вышележащих участках реки, в результате которых речным потоком переносится

Таблица 3.1. Пересечения русел средних и больших рек Камчатского края основными автодорогами

Река	Географические координаты перехода	Тип руслового процесса	Морфодинамический тип русла
Автодорога А-401 Петропавловск-Камчатский — аэропорт			
Авача	53°10'59" с. ш. 158°23'38" в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Автодорога Петропавловск-Камчатский — Мильково			
Корякская	53°08'45" с. ш. 157°53'05" в. д.	Горный	Прямолинейное русло, чередующееся с врезанными, вынужденными и адаптированными излучинами
Плотникова	53°06'15" с. ш. 157°45'19" в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Уздач	53°06'36" с. ш. 157°44'42" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Ипукик	53°09'29" с. ш. 157°41'00" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Плотникова	53°11'19" с. ш. 157°37'00" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Ключевка	53°19'14" с. ш. 157°29'08" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Поперечная	53°25'47" с. ш. 157°32'28" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Исхаладыч	53°37'53" с. ш. 157°38'09" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Соболья (Собачья)	53°38'44" с. ш. 157°37'58" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Кижиченок	53°48'11" с. ш. 157°40'18" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Кедровка	53°54'56" с. ш. 157°43'05" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Быстрая (Большая)	53°58'19" с. ш. 157°45'19" в. д.	Равнинный	Меандрирующее русло
Правая Камчатка	54°01'26" с. ш. 157°50'59" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Берш	54°10'10" с. ш. 157°58'11" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Кашкан	54°10'11" с. ш. 157°58'15" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Денохонок	54°15'03" с. ш. 158°06'37" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Эстребокос	54°18'14" с. ш. 158°13'07" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Черебокош	54°19'54" с. ш. 158°15'41" в. д.	Горный	Меандрирующее русло

3.1. Общая характеристика и типовые проблемы

Продолжение таблицы 3.1

Камчатка	54°37'26" с. ш. 158°27'50" в. д.	Равнинный	Меандрирующее русло
Андреановка	54°38'16" с. ш. 158°27'55" в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Автодорога Мильково — Ключи — Усть-Камчатск			
Жупанка	54°39'32" с. ш. 158°30'26" в. д.	Равнинный	Меандрирующее русло
Кирганик	54°47'53" с. ш. 158°45'54" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Малая Кимитина	54°57'55" с. ш. 158°50'60" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Большая Кимитина	55°02'30" с. ш. 158°52'22" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Козыревка	55°41'54" с. ш. 159°26'13" в. д.	Равнинный	Меандрирующее русло
Светлый Ключ	55°41'40" с. ш. 159°24'34" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Тополевая	55°43'38" с. ш. 159°24'08" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Крутенская	55°46'11" с. ш. 159°24'23" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Быстрая Эссовская	55°50'21" с. ш. 159°27'03" в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Камчатка	55°55'23" с. ш. 159°40'42" в. д.	Равнинный	Меандрирующее русло
Студёная (сухая река)	55°56'38" с. ш. 159°44'55" в. д.	Горный	Блуждающие русла лахаровых долин
Козыревская (сухая река)	56°02'37" с. ш. 159°53'44" в. д.	Горный	Блуждающие русла лахаровых долин
Бильченок	56°19' с. ш. 160°24' в. д.	Горный	Блуждающие русла лахаровых долин
Эульченок	56°19' с. ш. 160°30' в. д.	Горный	Блуждающие русла лахаровых долин
Б/н (выше с. Ключи)	56°20' с. ш. 160°36' в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Камчатка	56°20' с. ш. 160°51' в. д.	Равнинный	Пойменные и русловые разветвления
Кабеку	56°28' с. ш. 161°30' в. д.	Горный	Блуждающие русла лахаровых долин
Сухой Ильчинец	56°30' с. ш. 161°38' в. д.	Горный	Блуждающие русла лахаровых долин
Ильчинец	56°31' с. ш. 161°45' в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Радуга	56°33' с. ш. 161°55' в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло

Окончание таблицы 3.1

Асхава	56°32' с. ш. 161°57' в. д.	Полугорный	Прямолинейное русло, чередующееся с вынужденными и адаптированными излучинами и одиночными русловыми разветвлениями
Автодорога с-з Начикинский — с. Усть-Больщерецк — пос. Октябрьский			
Гольцовка	52°54'41" с. ш. 156°37'35" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Быстрая Малкинская (Большая)	52°55'24" с. ш. 156°36'06" в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Начилова	52°53'05" с. ш. 156°26'57" в. д.	Равнинный	Меандрирующее русло
Амчигача	52°50'40" с. ш. 156°19'03" в. д.	Равнинный	Меандрирующее русло

большое количество древесного материала. Следствием этого процесса является активизация переформирования речных русел и перестройка речной сети. Так, на р. Андреановке (бассейн р. Камчатки) накопление наносов и образование залома у одной из опор моста обусловило смещение основного течения реки в сторону другой опоры, что привело к подмыву последней и возникновению аварийной ситуации (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Подмыв опоры мостового перехода на р. Андреановке автодороги Петропавловск-Камчатский — Мильково (фото С.Р. Чалова, май 2007 г.)



Рис. 3.5. Обрушение моста через р. Сарайную (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской), 2005 г.)
(фото А.С. Чаловой)

На горных реках в условиях ограниченного развития русловых деформаций и формирования относительно устойчивых и устойчивых русел вероятность размыва берегов и опасности проявления русловых процессов минимальны. Даже при этом при эксплуатации мостов через реки неоднократно наблюдались их деформации вплоть до разрушения. Основной причиной этого являлось изменение структуры потока при недостаточном учёте максимальных расходов воды в процессе проектирования строительства дорожных перекрытий. Так, на р. Сарайной (приток р. Банной, бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской)) сооружение моста вдольтрассового проезда привело к сильному стеснению живого сечения реки. В связи с этим в период высоких расходов воды на реке наблюдались интенсивные размывы по обоим берегам, что в конечном счёте привело к обрушению моста (рис. 3.5) [Ермакова, 2009а]. Строительство мостов и кульвертов (водопроектных труб под насыпью) на нестабильных, меандрирующих участках русла, а также несоответствие размера кульверта максимальной водности потока — основная причина размыва мостов и водопроектных сооружений (рис. 3.6). Разрушение мостовых



Рис. 3.6. Размыв моста при его установке в излучине реки (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской), 2006 г.)
(фото В.Н. Лемана)

переходов и проведение ремонтных работ приводит к дополнительному загрязнению реки, что оказывает отрицательное воздействие на среду обитания рыб.

При пересечении временных водотоков и малых ручьёв, где организовывались водопроектные сооружения, с точки зрения развития русловых деформаций основным фактором становится неточная оценка максимальных расходов воды. Недостаточная пропускная способность переходов приводит к размывам дорожного полотна вплоть до формирования новых русел, пересекающих трассу. Так, ошибки в проектировании автомобильной дороги г. Петропавловск-Камчатский — с. Соболево (на вдольтрассовом проезде Камчатского газопровода) приводят к размыву берегов даже временными водотоками малых порядков (рис. 3.7). В частности, в 2005–2010 гг. неоднократно наблюдались размывы дорожного полотна в местах пересечения с потоками талых и дождевых вод, где водопроектные сооружения не были организованы вообще. Но и установка их при неправильном расчёте отверстий кульвертов не гарантирует устойчивого водопроектного (рис. 3.8).



Рис. 3.7. Размыв дороги г. Петропавловск-Камчатский — с. Соболево (фото Е.В. Есина, август 2008 г.)



Рис. 3.8. Размыв дорожного полотна при неправильной установке водопропускного сооружения (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской), 2006 г.) (фото В.Н. Лемана)

Нарушение морфологии рек и миграции лососей

Основной формой пересечения малых водотоков линейными наземными трассами на Камчатке являются кульверты, неправильная установка которых создаёт барьеры на пути поднимающихся вверх по рекам молоди и производителей лососёвых рыб. Перекрытие временных пойменных проток в придаточной системе главных русел создаёт дополнительные ограничения для передвижения молоди лососёвых рыб.

Наиболее распространёнными факторами создания непреодолимых препятствий для лососёвых рыб на малых водотоках становятся высокие скорости течения, перепады уровней между кульвертом и нижнем бьефом с порогами и водопадами, а также мелководье в трубах (рис. 3.9). В большинстве водотоков с нарушенными путями миграций рыб молодь лососей, совершающая активные контрнатантные (вверх по течению) перемещения, образует аномально плотные скопления (до 70 экз/м²) перед искусственными преградами. Большая протяжённость труб ухудшает условия ориентации и в дальнейшем сказывается и на проявлении реореакции [Леман, Лошкарёва, 2009]. Существование ихтиоценозов на участках русел выше кульвертов, гидрологические параметры внутри которых превышают плавательную способность молоди лососей, всецело зависит от успешности эпизодического прохода производителей лососей через переходы в верхнее течение. В тех водотоках, где гидрологические параметры внутри трубы превышают плавательную способность не только молоди, но и производителей лососей, ихтиоценозы исчезают. Из-за высоких скоростей (в отдельных случаях до 3,5 м/с) потока нарушены пути миграций не только молоди, но и производителей лососей на нерестилища, возросла руслоформирующая деятельность — ниже трубы образовывается глубокая (до 2 м) эрозийная яма. Отрицательное воздействие проявляется в виде образования трудно- или непреодолимых препятствий для мигрирующих вверх по течению лососёвых рыб в результате действия нескольких причин в разных сочетаниях — перепада уровня воды в реке и трубе, высокой скорости течения, слишком малой глубины воды в трубе, гладких стенок и дна трубы.

Утрачивая рыбопропускную способность, кульверты отсекают нерестово-вырастные угодья рыб, расположенные в верхней части речного бассейна от мест их обитания. На автодороге г. Петропавловск-Камчатский — с. Соболево не соответствующие Требованиям... [1996] водопропускные трубы сооружены практически на каждом третьем рыбохозяйственном водотоке и отсекают (сокращают жизненное пространство) в общей сложности на 119 водотоках не менее чем 10 га нерестилищ лососей и не менее чем 50 га нагульно-вырастных угодий молоди. Трубы, препятствующие проходу лососёвых рыб, особо часто встречаются в бассейнах рек в пределах Петропавловска-Камчатского и Елизово, в частности на реках Кирпичной, Половинке и др.

Массовый характер нарушения потенциальных путей миграции рыб при строительстве линейных объектов на крупных широкопойменных реках Камчатки приобрело перекрытие пойменных проток. Если основные рукава пересекаются мостовыми переходами, то понижения в пойменном рельефе чаще перекрываются дамбами без строительства даже водопропускных труб (рис. 3.10, 3.11). Только при пересечении автодороги г. Петропавловск-Камчатский — с. Соболево участка пойменно-руслового разветвления на р. Большой Воровской из 20-ти проток на переходе постоянный сток был сохранён только в 11. При этом 6 проток (30%) не функционируют ни в меженный, ни в паводковый период, так как их русла погребены под насыпями строительных грунтов.



Рис. 3.9. Ошибочное строительство водопропускных сооружений. Типичные просчёты: малый диаметр трубы, неверный её уклон, в результате которого образовался искусственный порог между рекой и трубой (бассейн р. Авачи и р. Большой (Быстрой Малкинской)) (фото В.Н. Лемана)

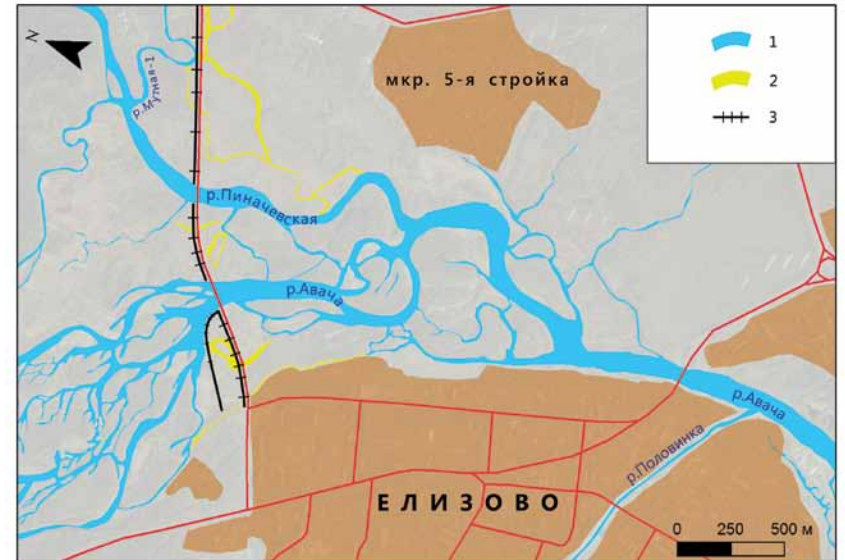


Рис. 3.10. Гидрографическая схема долины р. Авачи в месте пересечения автодороги Петроавловск-Камчатский — Мильково: 1 — протоки; 2 — перекрытые протоки; 3 — дамбы

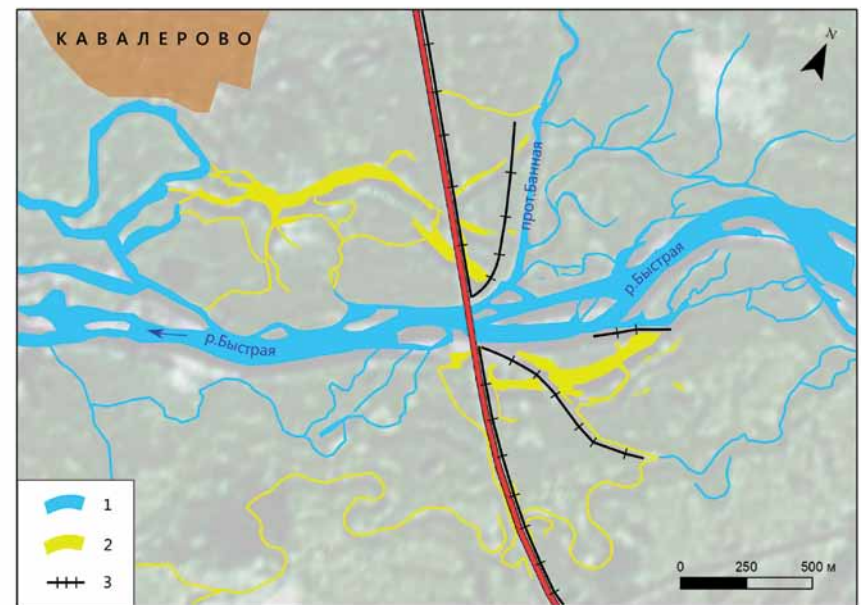


Рис. 3.11. Гидрографическая схема долины р. Быстрой Малкинской в месте пересечения автодороги с-з Начикинский — с. Усть-Большерек — пос. Октябрьский: 1 — протоки; 2 — перекрытые протоки; 3 — дамбы

Вместе с этим молодь и жилые группировки рыб в норме расселяются именно по боковым пойменным протокам, где скорости течения ниже, а число укрытий и доступность корма выше, чем в главных руслах. Гидрологический режим пойм рек Камчатки определяет развитие здесь многочисленных проток, часто питающихся исключительно подрусовыми и грунтовыми водами и не имеющих гидравлической связи с основным руслом в верхнем течении. Плотность заселения рыбами в этой придаточной системе всегда выше, чем в основном русле. Таким образом, перекрытие пойменных водотоков наносит запроектный ущерб — строительство дамб приводит к появлению заморных водоёмов-ловушек. Например, строительство глухих берегозащитных дамб при прокладке Камчатского газопровода и отсыпки трассы г. Петропавловск-Камчатский — пос. Октябрьский на участках низких пойм привели к появлению множества «отшнурованных» водоёмов. В таких перекрытых искусственных водоёмах на р. Аваче (рис. 3.10) были обнаружены массовые (несколько сотен экземпляров) скопления разновозрастной молоди — преимущественно кеты, гольца, нерки и кижуча, обречённой на гибель в непроточном замкнутом пространстве. Пример обустройства пересечения автодорогой поймы нижнего течения р. Быстрой Малкинской (рис. 3.11, 3.12) демонстрирует многолетнюю сукцессионную динамику развития пойменных водотоков. Полное перекрытие пойменных проток в этом месте привело к отчуждению около 0,5 га выростных акваторий. К настоящему времени русло крупной левобережной протоки ниже дамбы полностью обсохло и заросло ивняком, сеть пойменных проточек задернована и угадывается на рельефе с трудом. С правого берега из первой протоки выше дороги образовалась

А

Б



Рис. 3.12. Внешний вид перекрытых пойменных проток р. Быстрой Малкинской в месте пересечения автодорогой с-з Начикинский — с. Усть-Большерецк (фото Е.В. Есина) (см. рис. 3.11):

А — запруженная протока перед насыпью, заросшей ольхой; Б — обсохшая протока ниже дамбы

подпруженная старица с заиленным дном, а ниже дороги русло пересохло, на прилегающей территории в условиях переувлажнения формируется сплавина. Вторая протока, наоборот, в межень полностью пересыхает выше дороги, а ниже на переувлажнённом участке образовалось мелководное озеро с сильно заиленным дном. Оно соединено с главным руслом участком старой протоки. Все остаточные водоёмы населены рыбой, но в отличие от проток выше и ниже по течению в местном ихтиоценозе доминирует жилая трехиглая колюшка.

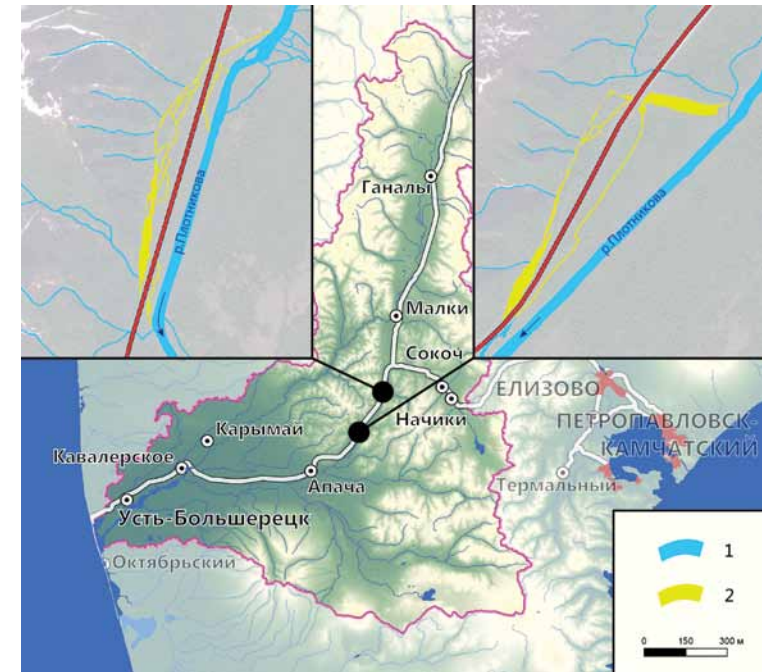


Рис. 3.13. Спрямление русла р. Плотникова при строительстве а/д с-з Начикинский — с. Усть-Большерецк — пос. Октябрьский: 1 — современное русло; 2 — старое отторженное русло

Она образует в запрудах значительные скопления, тогда как из лососёвых рыб единично встречается лишь молодь кижуча и нерки. Гольцы, микижа и чавыча, обычные в рукавах нижнего течения, в заиленные водоёмы не поднимаются.

При автодорожном строительстве на реках Камчатки практикуется искусственное изменение русла за счёт спрямления излучин либо перекрытия пойменных проток. Если с точки зрения инженерно-гидрологической безопасности эти мероприятия были достаточно эффективными, то с точки зрения воздействия на сообщества водных организмов они оказывались крайне неблагоприятными. Например, при пересечении двух излучин р. Плотникова автодорогой с-з Начикинский — с. Усть-Большерецк — пос. Октябрьский на участке их прижимов к правому крутому коренному берегу было выполнено искусственное спрямление русла (рис. 3.13).

Вход в старые русла был перекрыт глухими дамбами, в нижнем течении организованы водопропускные сооружения. Отчуждение двух крупных пойменных проток, служащих местом летне-осеннего нагула молоди лососей с продолжительным пресноводным периодом жизни, привело к изоляции от основного русла в созданных запрудах более тысячи мальков кижуча, гольца, чавычи и нерки. В течение нескольких месяцев вся молодь погибла. Впоследствии одна из проток полностью пересохла, другая превратилась в безрыбную старицу. В самом русле на участке работ исчезли естественные укрытия для рыб, а в прибрежной зоне снизилась плотность молоди.

3.1.2. Прокладка трубопроводов через реки

Камчатский край до XXI в. не был затронут нефтегазовой промышленностью, хотя идея перевода энергетики Камчатки на газовое топливо и строительства с этой целью магистрального газопровода (далее — МГ) до г. Петропавловска-Камчатского возникла достаточно давно, а активно обсуждалась с начала 1990-х гг. С того времени было подготовлено несколько вариантов технико-экономического обоснования (ТЭО) газоснабжения областного центра.

Строительство МГ было начато в августе 2000 г. в соответствии с ТЭО (Проект 2000 г.). С ноября 2002 г. строительство осуществлялось согласно Рабочей документации (РД 2002 г.). Начало в 2000 г. строительство активно велось в 2001–2002 гг. от пос. Карымай по направлению к с. Соболево. На участке от р. Быстрой Малкинской (Большой) (район пос. Карымай) в направлении с. Соболево строительство МГ в 2000–2003 гг. осуществляло АО «Плыностав Пардубице Холдинг» (Чехия). В 2002 г. началось строительство автодороги пос. Карымай — с. Соболево, которая первоначально входила в состав сооружений, связанных со строительством МГ, а затем по решению администрации Камчатской области была выделена в отдельный объект, строительство которой осуществляло ГУ Дирекция «Камчатоблаводор» силами подрядных организаций. К 2003 г. автодорога с капитальными мостами и кульвертами была построена до р. Пуконки (бассейн р. Кихчик) и на участке длиной около 50 км от пос. Карымай до моста на р. Порожистой признана объектом завершённого строительства. В 2003 г. в связи с отсутствием финансирования строительство МГ и автодороги полностью прекратилось. В общей сложности до приостановки строительства было построено 96,6 км трубопровода. В течение дальнейших пяти лет обслуживание построенных объектов трассы МГ и автодороги в ограниченных объёмах осуществляло ООО «Елизововодстрой» (г. Елизово).

Строительство газопровода выполнялось с многочисленными нарушениями как общих нормативных документов, так и отраслевых регламентов. Именно этот факт привёл к неоднократным разрушениям уже готовых переходов, фиксировавшихся на разных реках (в частности, в 2005 г. на р. Банной и Сарайной).

В 2007 г. на основании поручения Президента РФ № Пр-1680 от 22.09.2007 г. по результатам совещания, проведённого на Камчатке 05.09.2007 г., о продолжении строительства Камчатского МГ Правительством РФ было принято решение о подключении ОАО «Газпром» к реализации Проекта «Газоснабжение Камчатской области, 1 очередь — газоснабжение г. П.-Камчатского». В связи с вхождением в Проект ОАО «Газпром» в 2009 г. подготовлена новая проектная документация «Газоснабжение Камчатской области, 1 очередь — газоснабжение г. П.-Камчатского. Магистральный газопровод УКПГ-2 Нижне-Квакчинского ГКМ — АГРС г. П.-Камчатского» (далее — ПД), которая представляет собой корректировку старой ПД (2002 г.) без изменения концепции Проекта (ТЭО и РД). Основные разработчики ПД (2009 г.): ген. проектировщик — институт ОАО «Газпром Промгаз» (г. Москва), ОАО «СибНИИИП» (г. Тюмень) и ЗАО «ЛОРЕС» (г. Видное Московской обл.).

В результате летом в 2010 г. трубопровод довели до Петропавловска-Камчатского. Трасса МГ пересекает 524 водотока (не включая дорожные съезды и перемычку), из них 403 траншейными и 121 надземными переходами, из которых, в свою очередь, 99 — без опор в русле, 18 — с опорами в русле и 4 — вантовых перехода [Материалы..., 2004]. В створе перехода трассы МГ через 132 водотока расположены нерестилища лососей, из них 61 водоток пересекается траншейным

способом, 58 — надземным без опор в русле, 9 — надземным с опорами в русле и 4 — вантовым переходом (табл. 3.2, 3.3).

В средней своей части газопровод пересёк лососёвый биологический заказник «Река Коль» (рис. 3.1). Общая протяжённость МГ по территории заказника составляет 35,5 км. Пересечение МГ северной границы заказника происходит в точке с координатами N53°58,9 E156°22,7, южной — N53°42,7 E156°37,3. Надземным способом пройдено 15 водотоков, из них шириной русла более 50 м — 1 (р. Коль), от 20 до 30 м — 1 (р. Киумшечек), от 10 до 20 м — 4, от 5 до 10 м — 7, от 2 до 5 м — 2, а также сухое русло р. Киумшечки (всего 16 надземных переходов) (табл. 3.3).

Газопровод пересекает 524 водотока, из которых:

- 266 (более 50%) являются нерестовыми для тихоокеанских лососей, из них 208 (78,2%) — на Западном побережье, 58 (21,8%) — на Восточном;
- 132 (более 25%) в створе МГ имеют нерестилища тихоокеанских лососей, из них 116 (≈ 88%) — на Западном побережье, 16 (≈ 12%) — на Восточном.

Газопровод был открыт 29 сентября 2010 г. В первые 2 года эксплуатации (2010–2011 гг.) на ряде объектов возникли аварийные ситуации, обусловленные незавершённостью и некомплектностью инженерно-гидрометеорологических изысканий 2008 г. Одна из причин этого — слабый учёт горизонтальных и вертикальных русловых деформаций. В результате уже в 2011 г. в соответствии с «Программой капремонта магистрального газопровода «УКПГ Нижне-Квакчинского ГКМ — АГРС г. Петропавловска-Камчатского» на участках пересечений с реками (Камчатского ЛПУ ООО «Газпром трансгаз Томск») на 2013–2015 гг.» начались масштабные работы по переустройству надземных переходов газопровода (балочные и вантовые) в подземные (траншейные) [Программа... 2012]. Эксплуатирующая организация ООО «Газпром Трансгаз Томск»

Таблица 3.2. Перечень рек и ручьёв, пересекаемых трассой газопровода в соответствии с проектной документацией [Материалы..., 2004]

Ширина, м	По съездам с существующих дорог	Газопровод		
		Всего	Надземный	Подземный
Менее 2 м	10	221	5	216
от 2 до 5 м	3	47	11	36
От 5 до 10 м	4	47	23	24
От 10 до 20 м	1	23	18	5
От 20 до 30 м	0	13	10	3
От 30 до 50 м	1	7	7	0
Более 50 м	0	7	7	0
Всего водотоков	19	365	81	284
Озёра	0	1	0	1
Пересыхающие и др.	1	119	22	97
Осушительные каналы, водопропускные канавы	3	30	1	19
Всего	23	515	104	411

Таблица 3.3. Перечень рек и ручьёв по трассе газопровода на участке заказника «Река Коль» с разбивкой по ширине русла и способам перехода трубопровода

Ширина, м	Газопровод		
	Всего	Надземный	Подземный
Менее 2 м	213	2	211
От 2 до 5 м	75	13	62
От 5 до 10 м	56	34	23
От 10 до 20 м	41	25	16
От 20 до 30 м	15	11	4
От 30 до 50 м	14	14	–
Более 50 м	7	7	–
Нет данных по ширине русла	8	3	5
Всего водотоков	430	109	321
Озёра	–	–	–
Пересыхающие и др.	67	12	55
Осушительные каналы, водопропускные каналы	26	–	26
Всего	523	121	402

обосновывала такой подход необходимостью достижения экологической и производственной безопасности на Камчатском магистральном газопроводе, ссылаясь на опыт эксплуатации наземных переходов через водные преграды в балочном и вантовом исполнении, который показал, что такое проектное и строительное решение влечёт ряд производственных и экологических угроз:

— береговые и русловые размывы опор воздушных переходов магистрального газопровода на горных и полугорных реках вследствие активного развития русловых процессов, высокой кинетичности потока воды и волнового характера прохождения паводков;

— смещение опор трубопровода вследствие воздействия падающих или плывущих вниз по течению деревьев;

— механическое воздействие со стороны третьих лиц (использование трубопроводов как тренировочных мишеней браконьерами, переход через реку с тяжёлыми грузами, ударные воздействия маломерных судов);

— уязвимость газопровода для актов вандализма и терроризма.

В 2012 г. был осуществлён капитальный ремонт перехода через р. Авачу. Сам проект представлял собой полный демонтаж всех наземных участков МГ общей протяженностью 2,2 км и их переукладку в подземное положение методом открытой траншеи. В 2013 г. были запущены проекты по капитальному ремонту переходов через р. Колпакову и р. Воровскую.

Таким образом, вся история Камчатского газопровода и его переходов через реки состоит из двух этапов: до 2010 г. — фаза затянувшегося строительства и поддержания существующих переходов; после 2010 г. — фаза эксплуатации газопровода. В целом на первой стадии эксплуатирующие организации столкнулись с типовым перечнем гидроэкологических проблем, ошибки из которых были извлечены лишь частично и многие из них перекинулись на современный этап эксплуатации газопровода.

Русловые деформации

Строительство наземных, а в дальнейшем и траншейных переходов Камчатского МГ привело к очевидным проблемам учёта русловых деформаций. Причиной этого называлось низкое качество инженерных изысканий и неоптимальность применяемых технологий [Улатов и др. 2010; Введенская и др. 2012; Дмитриев, Казанцева, 2012]. По сути, «Программа капремонта магистрального газопровода «УКПГ Нижне-Квакчинского ГКМ — АГРС г. Петропавловска-Камчатского» на участках пересечений с реками (Камчатского ЛПУ ООО «Газпром трансгаз Томск») на 2013–2015 гг.» [Программа..., 2012] явилась признанием факта ошибок при проектировании и строительстве переходов через реки.

Камчатский МГ пересекает большое количество рек бассейна Охотского моря в их среднем течении (табл. 3.4).

Пересекаемым рекам характерен горный и полугорный тип руслового процесса, при этом в широкопойменных долинах рекам свойственны пойменно-русловые разветвления. Развитие русловых деформаций на разных реках приводило к аварийным ситуациям как на нитках самого газопровода, так и на вдольтрассовой автодороге.

Таблица 3.4. Характеристика устойчивости русел средних и больших рек Камчатского края, пересекаемых магистральным газопроводом «УКПГ-2 Нижне-Квакчинского ГКМ — АГРС г. П. Камчатского»

Река	Географические координаты перехода	Тип руслового процесса	Морфодинамический тип русла
Авача	53°20'43" с. ш. 158°13'14" в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Вахталка	53°20'31" с. ш. 158°09'57" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Корякская	53°10'50" с. ш. 157°54'37" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Корякская	53°08'23" с. ш. 157°53'42" в. д.	Горный	Прямолинейное русло, чередующееся с врезанными, вынужденными и адаптированными излучинами
Плотникова	53°02'42" с. ш. 157°48'26" в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Сарайная	52°54'44" с. ш. 157°30'03" в. д.	Горный	Прямолинейное русло, чередующееся с врезанными, вынужденными и адаптированными излучинами
Плотникова	52°56'20" с. ш. 157°11'33" в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Первая Красная	52°58'16" с. ш. 157°02'28" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Дальняя Гольцовка	53°01'52" с. ш. 156°56'40" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Быстрая (Большая)	53°04'19" с. ш. 156°55'27" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Начилова	53°06'57" с. ш. 156°51'54" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Утка	53°12'50" с. ш. 156°52'44" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Хомутина	53°16'53" с. ш. 156°56'11" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло

Окончание табл. 3.4

Левый Кихчик	53°18'09" с. ш. 156°49'45" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Левый Порожистый	53°22'04" с. ш. 156°42'36" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Покунка	53°27'48" с. ш. 156°40'12" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Хихку	53°31'04" с. ш. 156°41'04" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Правый Кихчик	53°35'00" с. ш. 156°40'48" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Пымта	53°40'56" с. ш. 156°38'42" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Левый Киумшечек	53°48'54" с. ш. 156°28'56" в. д.	Горный	Меандрирующее русло
Коль	53°40'56" с. ш. 156°38'42" в. д.	Горный	Пойменные и русловые разветвления
Кунтово	53°51'12" с. ш. 156°26'43" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Кехта	53°55'22" с. ш. 156°23'57" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Унушка	53°59'20" с. ш. 156°22'45" в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Удова	54°06' с. ш. 156°17' в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Минена	54°13' с. ш. 156°22' в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Средняя Воровская	54°17' с. ш. 156°22' в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Киумшич	54°23' с. ш. 156°13' в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Большая Воровская	54°24' с. ш. 156°13' в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Брюмка	54°30' с. ш. 156°09' в. д.	Полугорный	Меандрирующее русло
Колпакова	54°38' с. ш. 155°56' в. д.	Полугорный	Пойменные и русловые разветвления
Квакчик	54°40' с. ш. 155°51' в. д.	Равнинный	Меандрирующее русло

При этом их непосредственной причиной были как естественная неустойчивость рек, не в полной мере учтённая при проектировании, так и антропогенное изменение руслового режима рек.

Наиболее подверженными проявлению опасных русловых процессов оказались переходы, расположенные в предгорной области и пересекающие разветвлённые русла полугорных рек. Так, строительство перехода магистрального газопровода через р. Авачу в районе пос. Северные Коряки стало яркой иллюстрацией недоучёта естественных русловых и гидрологических факторов. Пренебрежение к разработке

прогноза русловых деформаций при его строительстве привело к необходимости капитального ремонта гидротехнического сооружения уже через несколько лет после ввода его в эксплуатацию. Угроза функционированию наземных переходов связана в первую очередь с масштабными русловыми перестройками, определяемыми естественными циклами перераспределения расходов воды по рукавам, активизацией новых пойменных проток, в том числе под влиянием древесных заломов, развитием и спрямлением излучин основного русла. Стабильность траншейных переходов снижалась из-за развития вертикальных деформаций, проявляющихся на крупнейших реках Камчатки в образовании 2–3-метровых эрозионных ям в течение прохождения одного половодья (паводка) (рис. 3.13, с. 53). Это также является угрозой для опор надземных переходов.

На малых реках в пределах относительно небольших долин развитие русловых процессов в меньшей степени представляет опасность для трубопровода. Тем не менее в ряде случаев аварийные ситуации возникали и при пересечении малых рек. Например, в 2002 г. на р. Мокушке мощным осенним дождевым паводком на протяжении нескольких десятков метров размыв траншейный переход трубопровода (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Размыв дождевым паводком осенью 2002 г. завершённого траншейного перехода трубопровода через р. Мокушку (фото А.В. Улатова)

Вверху — начало прорыва нового русла параллельно трубопроводу с его оголением на правом берегу. Внизу — конец участка оголения трубопровода в новом русле

Наиболее неблагоприятная ситуация складывается на реках, где на природную неустойчивость русла накладывались нарушения морфологии русла и динамики потока. На р. Колпаковой это привело к обрушению резервной нитки газопровода, зафиксированной 05.05.2012, причиной которого стал подпор воды в половодье 2012 г. и превышение фактических уровней над уровнем 1% обеспеченности на 0,82 м от моста вдольтрассового проезда. Учитывая, что даже при таком аномально высоком уровне воды на переходе до проектных отметок низа трубопроводов должен был сохраниться просвет 0,59–0,63 м, вторичным фактором обрушения стало бездействие эксплуатирующей организации. Провис трубы ниже проектных отметок был зафиксирован ещё в августе 2011 г., однако более полугодом не устранялся (рис. 3.15).

Строительство переходов Камчатского МГ через 20 проток пойменно-руслового разветвления р. Большой Воровской (рис. 3.16) сопровождалось выемкой галечниковых грунтов из русел проток, перемещением и отсыпкой аллювия в виде искусственных насыпей в руслах и на берегах по периметру опор перехода и шпунтовых



Рис. 3.15. Провис нитки газопровода через р. Колпакову в августе 2011 г. (фото А. В. Улатова)

ледовоотбойных ограждений. В результате русла всех функционирующих проток на переходе подверглись сужению (уменьшено живое сечение, произведены другие деформации русловых форм рельефа). Суммарное сужение поперечного профиля многорукавного русла р. Большой Воровской в 2010–2011 гг. составило 58,1%. Это привело к интенсификации плановых деформаций берегов и почти полному размыву искусственных насыпей строительных грунтов в течение одного паводка 2012 г. Мост на свайных опорах, расположенный ниже по течению в непосредственной близости от основной нитки, из-за заломов деревьев, принесённых карчеходом, предопределяет непрогнозируемый подпор и перераспределение потока речных вод по пойме в русла соседних проток. Проектные и строительные ошибки обусловили высокую вероятность повреждений и разрушений отдельных элементов перехода и, как следствие, необходимость проведения ремонтно-восстановительных работ. Одновременно такой вид строительства привёл к нарушению среды обитания лососей, особенно в части изменения путей миграций рыб.

Разрушение прирусловых комплексов

Отдельным фактором снижения устойчивости инженерных конструкций Камчатского МГ и воздействия на среду обитания лососёвых рыб стала активизация эрозионных процессов в прирусловых частях долин. Во многих случаях она была связана с непроектными земляными работами на реках вдоль трассы газопровода, в том числе вызванных задержкой строительства и многократной сменой исполнителей проекта. В частности, признание качества швов первого варианта трубы не соответствующего стандартам ОАО «Газпром» привело к масштабной переукладке трубы, в том числе в местах пересечения рек. При этом аварийный режим работы определил несоблюдение времени между откопкой траншей в водотоках и их засыпкой, предусмотренных



Рис. 3.16. Вантовый переход МГ через главную протоку р. Большой Воровской на ПК 652 + 63 (на переднем плане) и балочный переход МГ через протоку на ПК 650 + 87,9 (на заднем плане) в период окончания строительства (14.07.2010 г.) (фото А. В. Улатова)

Ниже резервной нитки (на снимке — справа) в русле главной протоки наблюдается насыпной брод (искусственный пережат, ниже (в центре снимка) — искусственное углубление (выемка, грунт из которой ковшем экскаватора перемещался в створ насыпного брода). Ниже по течению — в створе основной нитки (на снимке — слева) устроены аналогичные искусственные формы рельефа русла — насыпной брод и выемка

проектом, который возрос с проектных одних суток до нескольких месяцев. Из-за многомесячного сохранения траншей в открытом состоянии многие из пересечённых ручьёв заполнили траншеи, и в наиболее низких местах поймы начали переливаться через притрассовый проезд (рис. 3.17). Не предусмотренные Проектом земляные работы были обнаружены в местах перехода трассы МГ через 67 рыбохозяйственных водотоков. В пределах биологического заказника «Река Коль» непроектные земляные работы были отмечены на 24 водотоках, где производилось сужение и спрямление нерестовых русел, погребение и осушение донных биоценозов путём создания искусственных насыпей размываемых грунтов в руслах и на берегах водотоков [Оценка последствий..., 2013].

В связи с организационными сложностями строительства Камчатского газопровода и других объектов линейной части трассы МГ с июля 2008 г. по май 2009 г. завоз материалов и оборудования, а также текущие транспортные операции осуществлялись без обустройства водных переходов. Это обернулось массовыми переездами вброд строительной и иной техники через крупнейшие западнокамчатские нерестовые реки: Правый Кихчик, Пымта, Средняя и Большая Воровские (рис. 3.18). В пределах заказника «Река Коль» наиболее сильное воздействие от таких переездов было на р. Киумшечке, через которую было совершено не менее 5500 рейсов (от 5 до 30 переездов в сутки, в среднем 20 переездов в сутки). Переездами транспортных средств вброд через нерестовые участки лососёвых рек нанесён существенный экологический



Рис. 3.17. Перелив водотока водой в октябре 2008 г. через притрассовый проезд в результате заполнения траншеи на ручье Куев 1-й (ПК 1749 + 70) — приток р. Правого Кихчика (басс. р. Кихчик) (фото А.В. Улатова)

вред вследствие повреждения нерестилищ, нагульных угодий, гибели кормовой базы, икры и личинок лососей в грунте аллювиальных отложений водотоков.

Непосредственно сведение растительности и отсутствие буферных полос стало причиной формирования протяжённых техногенных полигонов, характеризующихся высокими темпами плоскостного смыва. Экспериментальные данные, полученные для Камчатки, характеризуют средние модули поверхностного смыва в пределах отвалов пород (табл. 3.5). Эксперименты проводились на разных нарушенных склонах по трассе Камчатского МГ. Оценивалось изменение концентрации перемещаемого материала по мере его стекания по склону путём поверхностного смыва.



Рис. 3.18. Массовые переезды строительной и иной техники вброд через крупнейшие нерестовые реки Западной Камчатки: Правый Кихчик, Пымту, Среднюю Воровскую (фото А.В. Улатова)

Средняя крутизна склонов в экспериментах составляла около 10° . В период выпадения осадков разной интенсивности измерялись мутность воды по длине водотока, расход воды, площадь локального водосбора. Оценки модулей смыва достигают в этих условиях $0,001-0,029 \text{ кг/м}^2\text{-сут.}$, что более чем в 1000 раз превышает региональные (фоновые) значения этой характеристики [Литвин, 2002]. Полученные значения показали сопоставимость их с единичной информацией, приводимой в научной литературе для техногенных полигонов [Махинов и др., 2006; Arnold, Angle, 1989; Bartley et al., 2004; Hancock et al., 2006].

Таблица 3.5. Эмпирические значения модуля смыва для разных техногенных нарушенных относительно пологих склонов долин рек Камчатки

Интенсивность выпадения осадков I , мм/сутки	Модуль смыва A_k , кг/м ² -сутки
25–50	0,029
10–25	0,017
1–10	0,001

Результатом активизации эрозионных процессов на прирусловых комплексах стало стремительное образование малых эрозионных форм, приводящих к уничтожению дорожного полотна (рис. 3.19) или аварийному обнажению трубопроводов (рис. 3.20). В обоих случаях ускоренная эрозия, характерная для техногенных ландшафтов, является причиной образования эрозионных врезов, разрушающих хозяйственные объекты. Учитывая, что наиболее тесная связь существует между длиной эрозионной формы и площадью её водосбора [География..., 2006], которая описывается нелинейной возрастающей функцией $F = kL^n$, где k и n — эмпирические коэффициенты, возможность минимизации этого типа воздействия на речные системы связана с выполнением противоэрозионных, берегоукрепительных и рекультивационных мероприятий.



Рис. 3.19. Разрушение дорожного полотна автодороги вдоль трассы Камчатского МГ возле р. Соболиной (фото А.В. Улатова, август 2011 г.)



Рис. 3.20. Обнажение трубы в условиях развития ускоренной эрозии на склоне р. Чимистиной (фото А.В. Улатова, август 2011 г.)

Обобщение информации по трассе Камчатского МГ свидетельствует о наличии здесь 16 наиболее проблемных водотоков с опасными склонами, на которых вследствие больших объёмов земляных работ и нарушений проектной технологии строительства интенсивно развиваются опасные экзогенные процессы — водная эрозия и оползни. В нарушение проектных решений и требований природоохранного законодательства ни на одном участке строительства МГ (за исключением участка земель сельскохозяйственного назначения в Елизовском районе) не сохранялся плодородный и потенциально плодородный слой почв. Техногенные нарушения склонов и берегов сопровождаются поступлением большого количества твёрдого материала в реки.

Поступление в реки техногенной взвеси

Следствием развития русловых деформаций, эрозионных процессов на склонах долин, переездов техники вброд является поступление твёрдого материала в речную систему. При проведении строительных работ по берегам и в руслах рек в поток попадают как тонкодисперсные частицы (глина, < 0,001 мм; ил, 0,001–0,01 мм), так и крупнообломочный галечный (10–100 мм) и валунный (> 100 мм) материал. В зависимости от крупности материала и гидравлических условий его перемещения происходит аккумуляция или транзитный транспорт материала с формированием шлейфов так называемой технологической мутности. Тип водного объекта определяет ведущие факторы распространения и трансформации поля мутности от источника загрязнения, а технология работ — время воздействия и интенсивность источника загрязнения. На Камчатке оценка переноса технологической мутности осложняется неоднородной фоновой картиной распределения мутности воды (рис. 3.21) и высокими уклонами русла. На ряде рек фоновые значения могут быть ничтожно малы, в то время как на некоторых реках, особенно стекающих с вулканов, они значительно превышают техногенную долю наносов.

Специальные наблюдения на р. Аваче при разработке траншеи для Камчатского МГ (рис. 3.22) показали, что при прокладке трубопровода в галечном аллювиальном



Рис. 3.21. Естественные (А, Б) и техногенные (В, Г) шлейфы мутности на реках Камчатки:

А — р. Сторож (фото А.С. Чаловой, 11.06.07), формирующая сток на склонах Гамченской цепи вулканов (в том числе действующий вулкан Комарова) и хребта Тумрок при впадении в Тихий океан; Б — р. Фальшивая (фото С.Р. Чалова, 20.08.06), формирующая сток на склонах вулкана Мутновского при впадении в Тихий океан;

В — р. Большая Воровская (фото А.В. Улатова, 14.07.10), протока при пересечении Камчатским МГ. Переезд вброд строительной техники с образованием шлейфа мутности в потоке. Отсутствие мостов вдоль резервной нитки и низкие проектные отметки заложения над землёй трубопроводов обеих ниток стали причиной несанкционированных переездов техники вброд по межтрубному пространству в период строительства; Г — ручей Ольховый (фото А.В. Улатова), загрязнённый стоками с разработок россыпной платины Сейнав-Гальмозанского горного узла, при впадении р. Вывенки.

русле основная часть взвешиваемых потоком частиц (от 18 до 71%) соответствовала фракции пыли (крупность 0,01–0,05 мм). Дальность распространения более крупных фракций (песок и гравий) ограничивалась участком в 100–200 м ниже траншеи. Ниже по течению мутность, соответствующая фракциям ила и пыли, изменялась только за счёт боковой приточности (р. Корьякская).

В результате проведения работ по реконструкции газопровода мутность воды ниже перехода увеличивалась от 3,5 до 100 раз в зависимости от режима работы экскаваторов. Содержание фракций диаметром менее 0,05 мм достигало в составе взвеси 99% непосредственно в зоне распространения шлейфа мутности ниже траншеи и снижалось до 47–76% в 18 км ниже по течению у пос. Раздольного. Точки, которые испытывали максимальное воздействие от работы техники (57% от общего числа исследованных проб), характеризовались самым высоким содержанием пылевых

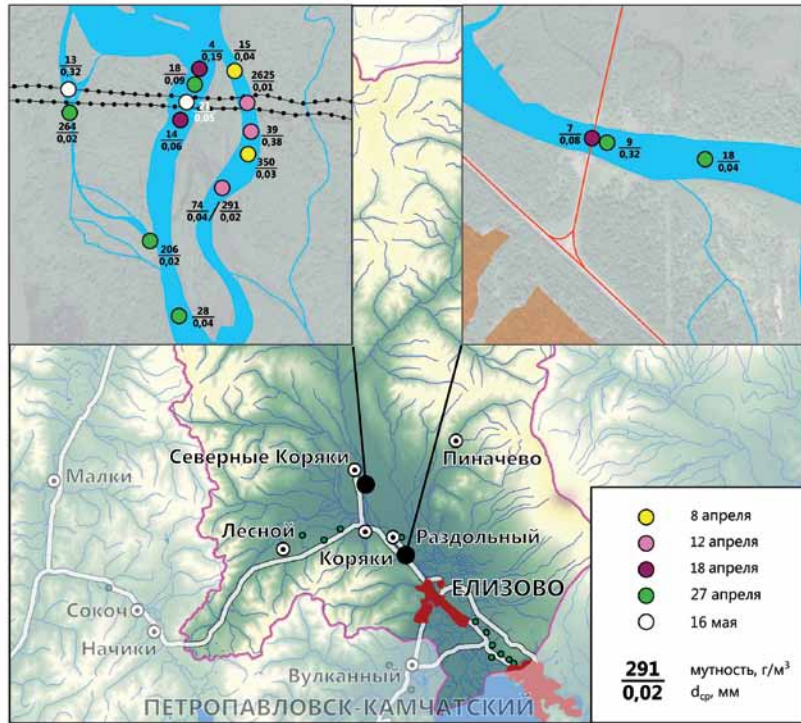


Рис. 3.22. Положение точек мониторинга мутности воды при строительстве подземного перехода Камчатского МГ через р. Авачу в 2012 г.

частиц (< 0,05 мм), их доля составила от 64 до 90%. Ниже по течению содержание таких частиц уменьшалось и в контрольном створе у пос. Раздольного составило от 18 до 69% (рис. 3.23).

Указанные закономерности изменения состава взвеси р. Авачи в результате её разбавления определили наличие нелинейного снижения крупности взвешенных наносов с 0,038–0,193 до 0,028–0,011 мм. Такая зависимость уменьшения среднего диаметра взвеси при увеличении мутности воды в р. Аваче в связи с реконструкцией траншеи может быть выражена уравнением (рис. 3.24):

$$d_{cp} = 0,327 \cdot S^{-0,45}$$

Аналогичные выводы были ранее получены для рек бассейна Вывенки [Chalov S. R., 2014]:

$$d_{cp} = 0,145 \cdot S^{-0,49}$$

В условиях трудоёмкости специальных наблюдений за трансформацией шлейфов мутности и необходимости прогноза важным является проведение численных оценок распространения технологической мутности. Сопоставление фактических и расчётных значений мутности воды ниже строящегося перехода р. Авачи (рис. 3.25)

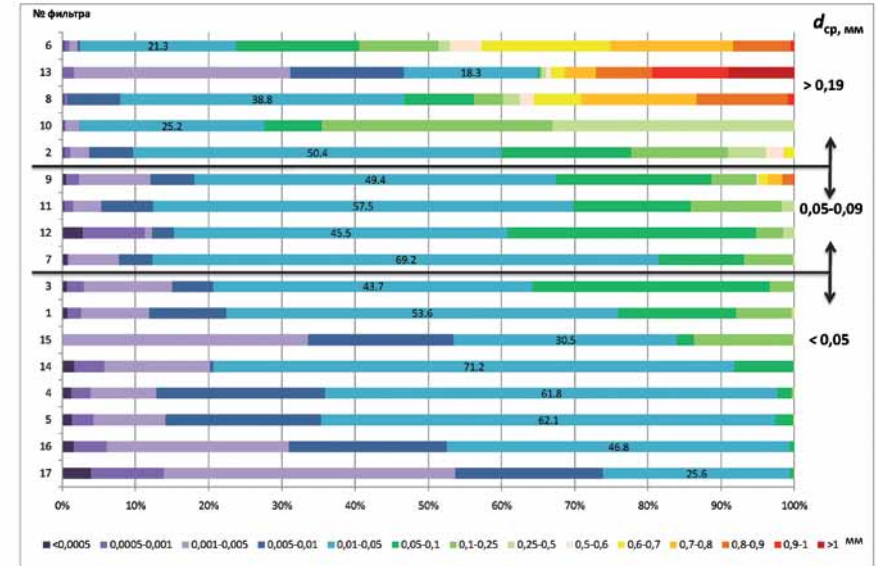


Рис. 3.23. Гранулометрический состав взвешенных наносов р. Авачи при укладке газопровода траншейным способом в 2012 г. (пробы с $d_{cp} < 0,05$ мм отобраны на участке 100-200 м ниже траншеи; пробы с $d_{cp} > 0,19$ мм отобраны у поселка Раздольный)

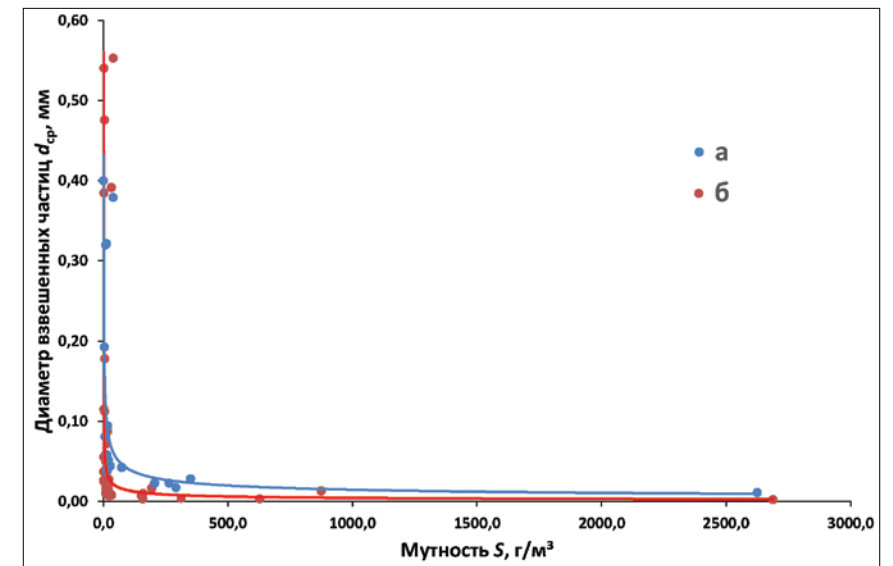


Рис. 3.24. Уменьшение крупности взвеси d_{cp} при техногенном увеличении мутности S : а – при проведении русловых работ в руслах рек (р. Авача, апрель-май 2012 г.); б – при добыче полезных ископаемых в долинах рек (бассейн р. Вывенки, 2006, 2012 гг.)

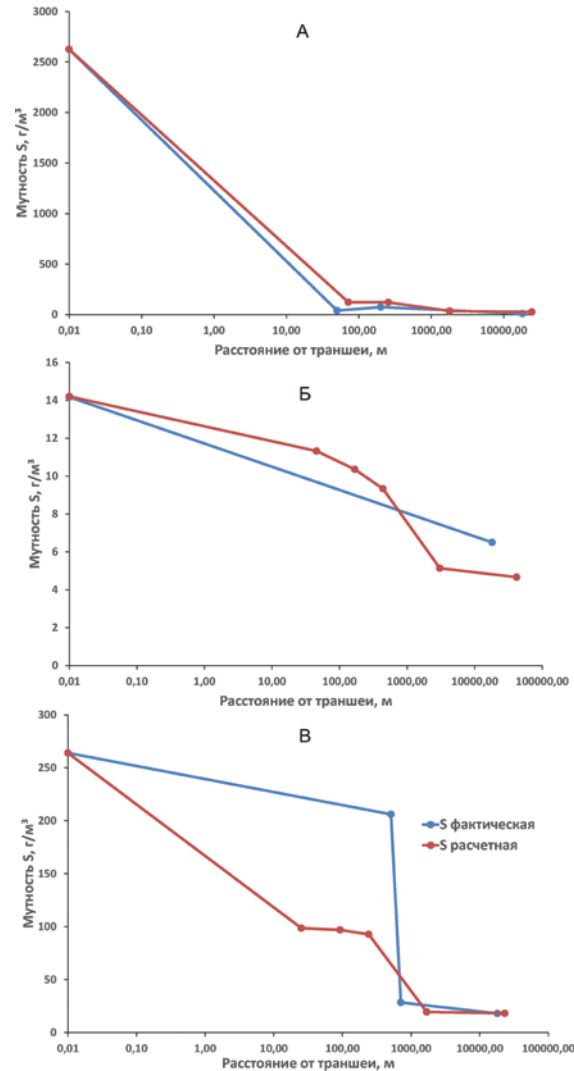


Рис. 3.25. Соответствие фактических и расчётных (СТО ФГБУ «ГГИ» 52.08.31-2012) значений мутности воды S ниже строящегося перехода газопровода на р. Аваче: А — 12.04.12, левая протока; Б — 18.04.12, основное русло; В — 27.04.12, правая протока

показало, что существующие методические указания [Временные указания... 1986; СТО ФГБУ «ГГИ» 52.08.31-2012] с приемлемой степенью достоверности воспроизводят условия продольного транспорта материала. Разница между фактическими и оценочными значениями содержания взвеси в контрольном створе в 18 км ниже по течению от створа траншеи у пос. Раздольного составила от 0,21 до 16,7 г/м³.

Ежедневный общий объём взвешенного материала, поступавшего в реку весной 2012 г. в зависимости от интенсивности работы экскаватора и его положения в русле, изменялся от 24 до 1470 т (за 12-часовую рабочую смену), однако до 98% этого материала вновь осаждалось ниже по течению. Устойчиво во взвешенном состоянии в речных водах оставались частицы крупностью менее 0,05 мм [Россинский, Дебольский, 1980], которые транзитом переносились рекой в Авачинский залив.

3.1.3. Населённые пункты Камчатки и защита их от опасных русловых процессов

Отдельным аспектом возникновения угрозы опасных русловых процессов на реках Камчатского края является отмечаемый в последние десятилетия рост числа чрезвычайных ситуаций на урбанизированных территориях в пределах пойменно-русловых комплексов. Они проявляются в подтоплении и возникновении угрозы размыва водным потоком приречных территорий, осваиваемых населением для жилой, зачастую стихийной застройки, используемой для сезонного или круглогодичного проживания и ведения частного подсобного хозяйства.

Камчатский край включает в себя 70 муниципальных образований: 3 городских округа и 11 муниципальных районов (4 из которых входят в Корякский автономный округ), на территории которых располагаются 6 городских поселений и 50 сельских поселений. Административный центр — город Петропавловск-Камчатский. Наиболее крупные города — Елизово, Вилючинск.

По данным Росстата, на 2013 г. численность населения Камчатского края (вместе с Корякским автономным округом) составляет 320,5 тыс. человек. Городское население — 77,11%, более 60% при этом проживает в Петропавловске-Камчатском.

Площадь Корякского автономного округа — 301,5 тыс. км² (около 60% площади края), его административный центр — посёлок городского типа Палана. В округе существуют 33 муниципальных образования, в том числе 1 городской округ, 4 муниципальных района, 1 городское поселение, 27 сельских поселений. По данным 2005 г., население округа — 23,8 тыс. человек, удельный вес городского населения — 26,9%.

Пояс максимальной плотности населения протягивается от Петропавловска-Камчатского по Центрально-Камчатской равнине на север вплоть до устья р. Камчатки. Наиболее заселёнными на полуострове являются долины крупных рек в предгорных и равнинных районах. Населённые пункты располагаются по берегам рек Авачи, Быстрой (Большой), Плотниковой и Камчатки (рис. 3.26).

Для предгорных и равнинных районов Камчатского края, где русла рек в условиях сохранения высокой удельной мощности потока формируются преимущественно в свободных (широкопойменных) условиях, в целом характерны большие амплитуды колебания уровней воды в период прохождения мощных половодий и паводков, а русловые переформирования нередко носят импульсивный (скачкообразный) характер, приводящий к кардинальной перестройке русловой сети в течение одного-двух многоводных периодов. Однако в сознании граждан даже понимание потенциальной опасности, которую несут в себе естественные гидрологические процессы, нередко вступает в противоречие с возможностью получения рекреационных, хозяйственно-бытовых, эстетических преимуществ, которые даёт близость к водным объектам. Результатом такого отношения является регулярное возникновение очагов социальной напряжённости. Это приводит к тому, что местные власти вынуждены принимать меры по обеспечению безопасности территорий, непригодных без предварительной гидротехнической защиты для хозяйственного освоения. Зачастую требуемый комплекс

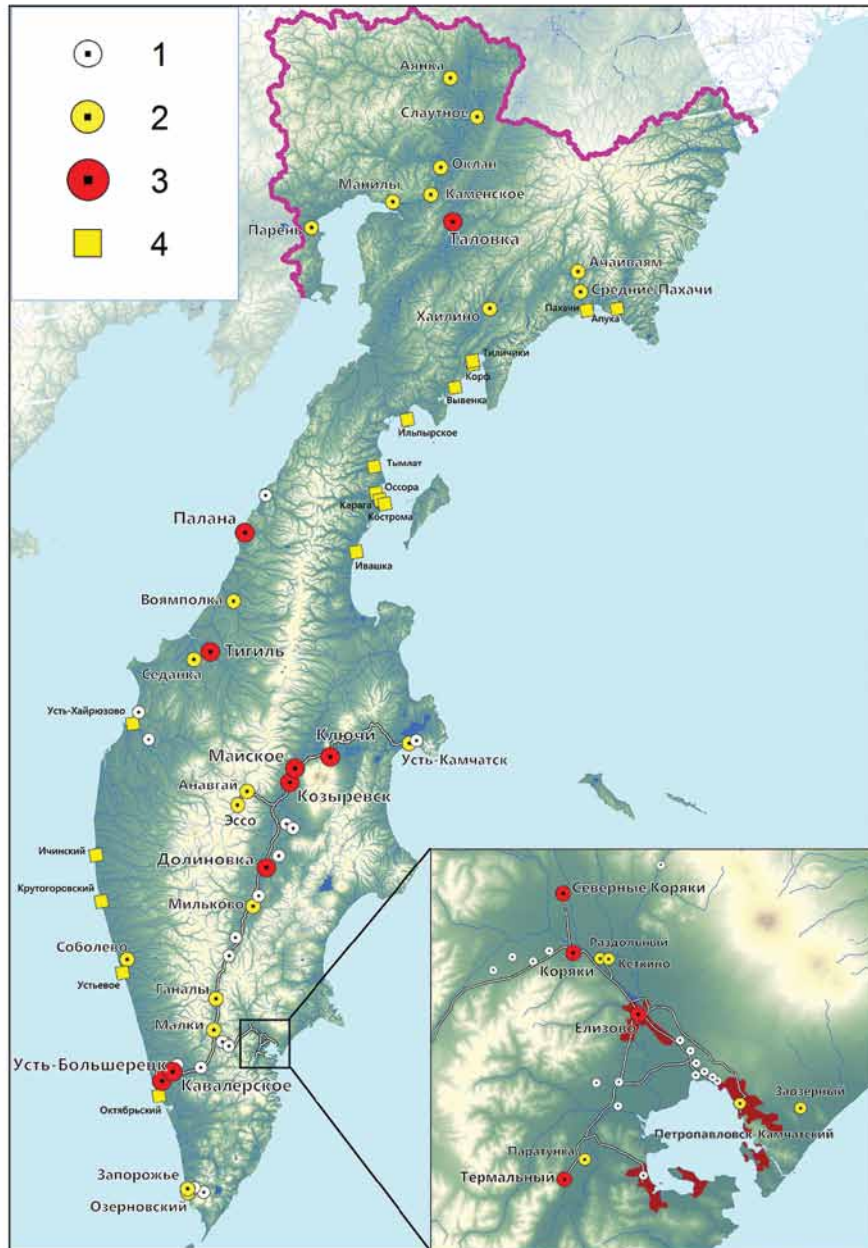


Рис. 3.26. Опасность проявления гидрологических процессов в населённых пунктах Камчатки: 1 — отсутствует; 2 — потенциальная; 3 — фактическая; 4 — опасные процессы в устьевой зоне.

берегозащитных и противопаводковых мероприятий многократно превышает по финансовым вложениям те ущербы, которые могут быть нанесены уже построенным частным строениям или хозяйственной инфраструктуре.

В условиях высокой неустойчивости рек Камчатки угрозы для населённых пунктов, расположенных по берегам рек, связаны как с размывами берегов, так и с затоплением и подтоплением прилегающих территорий. При обосновании систем защиты населённых пунктов возникает ряд типовых проблем, связанных с оценкой размывов берегов и факторов, их определяющих; интенсивностью и вероятностью затоплений прибрежных территорий; технической и экономической эффективностью инженерных мероприятий; экологическими последствиями реализации мероприятий инженерной защиты территорий.

Размывы берегов

Наиболее значительные последствия размыва для населённых пунктов, отмечавшиеся в последние годы на Камчатке, были связаны с русловыми переформированиями в пределах полугорных пойменно-русловых разветвлений. Они возникали на р. Аваче возле пос. Северные Коряки, на р. Палане около пгт Палана и др. В ряде случаев негативные процессы отмечались и в долинах рек с меандрирующими широкопойменными руслами, особенно на р. Камчатке.

Перераспределение стока воды между существующими рукавами, а также развитие новых рукавов являются причиной интенсивного размыва берегов полугорных разветвлённых рек и могут вызывать активное развитие излучин в рукаве также с непосредственным разрушением береговой линии. При кардинальной перестройке русловой сети, произошедшей в районе пос. Северные Коряки в середине 1960-х гг., началось развитие правого рукава и активное его меандрирование, что явилось причиной возникновения угрозы разрушения строений посёлка, расположенных на правом берегу. К тому же для Камчатки характерны аномально высокие темпы размыва берегов. В вершинах излучин они достигают 40 м/год, что соответствует максимальным встречающимся в природе значениям (табл. 3.6). Внезапность активизации рукавов

Таблица 3.6. Характерные темпы горизонтальных и вертикальных деформаций рек Камчатки в районе некоторых населённых пунктов Камчатского края

Река	Населённый пункт	Максимальный расход воды 1 %, Q_1 , м ³ /с	Средне-годовой расход воды Q_p , м ³ /с	Максимальная скорость отступления берегов в вершине излучин, м/год	Вертикальные деформации, см/год
Авача	Северные Коряки	609	105	40	н/д
	Раздольный	897	135	30	-2,25
Тигиль	Тигиль	1160	187	15	+0,55
Камчатка	Долиновка	1910	224	15	-1,45
	Козыревск	3610	452	15	-1,7
Большая Воровская	Соболево	872	78,8	25	+2,22

и развития излучин послужило снижению интенсивности размыва берегов во времени. Так, на р.Аваче в районе пос.Северные Коряки максимальные значения отступления берега отмечались в первые годы формирования излучины и снижались до 5–10 м/год в последующие. Средний период цикла формирования излучин в правом рукаве р.Авачи у пос.Северные Коряки, являющихся причиной разрушения прибрежных, составляет 6–7 лет.

Аномально высокие темпы разрушения берегов на реках Камчатки обусловлены уникальным сочетанием факторов:

- геолого-геоморфологических (высокие уклоны русла, легкоразмываемые грунты, широкая и низкая пойма);
- гидрологических (высокие и резкие половодья);
- местных (интенсивный карчеход и образование заломов).

Основным геолого-геоморфологическим фактором, требующим учёта при оценке и прогнозе размывов берегов, является строение пойменных массивов. Межгорные котловины Камчатки заполнены неустойчивым валунно-галечным материалом. В качестве заполнителя руслообразующего аллювия в большинстве случаев выступает крупнозернистый песок и мелкий гравий с частыми прослоями вулканических пеплов.

К гидрологическим факторам, определяющим интенсивность переформирования, относятся условия прохождения руслоформирующих расходов воды и затопляемость поймы. Активная фаза русловых переформирований в естественных условиях достаточно продолжительная. Во время прохождения половодья и паводков здесь высока вероятность прорыва вершин излучин протоков или соединения соседних протоков, что приводит к перераспределению расходов воды, активизации одних и отмиранию других рукавов. Межгодовая интенсивность переформирования русла определяется в первую очередь водностью половодья. Этот же фактор увеличивает мощность карчехода, возникающего из-за размыва пойменных берегов на вышерасположенных участках реки, который, в свою очередь, приводит к развитию заломов древесной растительности (гл. 1.1.6). Такие локальные факторы на реках Камчатки зачастую являются самостоятельной, весьма значительной и труднопредсказуемой причиной переформирования их русел.

Учёт этих факторов крайне важен при правильном прогнозе русловых переформирований рек Камчатки. Так, при использовании данных СТО ГУ ГГИ 08.29-2009 по рекам, которые могут быть приняты в качестве аналогов для рек Камчатки, максимальная скорость размыва и темпы плановых деформаций берегов оказываются заниженными. В частности, максимальное значение размыва берегов для широкопойменных пойменно-русловых разветвлений (незавершённое меандрирование в классификации СТО ГУ ГГИ 08.29-2009) не превышает 9 м/год при характерных для Камчатки 40 м/год. В этой связи при прогнозе горизонтальных деформаций рек Камчатки следует опираться на региональную таблицу (табл. 3.6).

Размывам берегов способствуют и темпы вертикальных деформаций (табл. 3.6). В настоящее время тектонические депрессии Камчатки продолжают испытывать вертикальное опускание, которое, по данным нивелирования, выполненного Главным управлением геодезии и картографии (ГУГК), составляет более 5 мм/год [Карта современных..., 1983]. В этих условиях для нижнего течения рек Камчатки, которые впадают непосредственно в океан, при современном опускании приморских равнин характерна аккумуляция наносов, распространяющаяся регрессивно от устья вверх по течению (0,55 см/год на р. Тигиль — с. Тигиль, 2,22 см/год на р. Большой Воровской — с. Соболево). В нижнем течении рек, притоков других рек, аккумулятивные процессы в русле определяются главной рекой, которая является базисом эрозии для своих притоков (реки Кавыча, Андриановка, Кирганик, Быстрая Эссовская — притоки р. Камчатки; р. Корякская — приток р. Авачи), и в отдельных случаях достигают 3–4 см/год.

Оценка потенциальных ущербов и экономической стоимости проектов

Характерной проблемой для Камчатского края стала защита населённых пунктов от опасных русловых процессов. На первый план вышел вопрос сопоставления стоимости проведения берегозащитных мероприятий и ущерба населению, хозяйству и экономике, наносимого опасными процессами. Экономическая эффективность проектов защиты посёлков связана с реализацией возможных альтернативных вариантов, в том числе переноса населённых пунктов. При этом должна проводиться оценка величины вероятного ущерба.

Расчёт укрупнённых показателей вероятного ущерба от размыва и затопления населённых пунктов производится в соответствии с «Методикой определения размера вреда, который может быть причинён жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии СГТС» (судоходных гидротехнических сооружений) [Методика..., 2007]. Общий реальный ущерб для освоенной территории состоит из следующих компонентов:

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_{\text{об}} + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6 + U_7 + U_{7c} + U_{7a} + U_8 + U_9 + U_{10},$$

где U_1 — ущерб основным производственным фондам;

$U_{\text{об}}$ — ущерб оборотным производственным фондам;

U_2 — ущерб готовой продукции предприятий;

U_3 — ущерб элементам транспорта и связи;

U_4 — ущерб жилому фонду и имуществу граждан;

U_5 — расходы на ликвидацию последствий аварии;

U_6 — ущерб сельскохозяйственному производству;

U_7 — ущерб лесному хозяйству;

U_{7c} — ущерб от потери леса как сырья;

U_{7a} — экологический ущерб от затопления лесов;

U_8 — ущерб окружающей среде от сброса опасных веществ в окружающую среду;

U_9 — ущерб, вызванный нарушением водоснабжения из-за аварии водозаборных сооружений;

U_{10} — прочие виды реального ущерба.

При оценке ущерба учитываются и различные виды земель, которые могут быть уничтожены в результате развития русловых деформаций. Расчёт ущерба лесным территориям проводится по формуле:

$$U_{7c} = 0,15 \cdot P \cdot S \cdot M,$$

где P — стоимость одного м³ корневого запаса, руб./м³ (для Камчатской тайги — 18,4 тыс. руб.), S — площадь лесов в зоне катастрофического затопления, M — средний корневой запас товарной древесины, м³/га (для Камчатской тайги — 130 м³/га). Расчёт ущерба сельскохозяйственным землям проводится по формуле:

$$U_6 = 0,5 \cdot S \cdot K \cdot 0,4,$$

где S — площадь сельхозугодий, K — средний по субъекту Федерации норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий.

Сопоставление величины ущерба со стоимостью реализации берегозащитных мероприятий в условиях слабой заселённости полуострова и низкой кадастровой стоимости земли часто выявляет неэффективность мероприятий защиты посёлков.

Например, реализация различных проектов защиты пос. Северные Коряки показала [Выполнение инженерных..., 2013], что единственным технически и экологически оправданным вариантом является укрепление береговой линии по длине размываемого берега. Однако, учитывая стоимость этих мероприятий (около 8 млн руб.), существенно превышающую величину ожидаемого ущерба (0,838 млн руб. при прогнозируемом развитии русла всего на 6 лет), а также то, что для полной защиты посёлка потребуются суммы несопоставимо выше его полной стоимости, был сделан вывод, что в современных условиях регулирование русла р. Авачи является экономически и технически неоправданным.

В то же время экономическое обоснование не учитывает социального фактора. Например, в пос. Северные Коряки в 2013 г. даже после разрушения части своего участка, осталась жить пожилая женщина с большой дочерью. На любую предлагавшуюся властями помощь по перевозу имущества она отвечала отрицательно, а после вынужденного переселения выделенную ей квартиру в связи с разрушением дома уже через месяц вернулась обратно в оставшуюся на её участке временную постройку. Совершенно ясно, что экономическая неэффективность защиты посёлков и принятие решений об их переносе сопряжена с человеческим фактором. В то же время при строительстве водохранилищ в XX в. только в СССР было переселено более 2 млн человек, а в мире — 12 млн человек [Асарин и др., 2012]. Видимо, разумным разрешением этого противоречия должен быть учёт как экономических, так и социальных аспектов [Малик, 2005].

Другой типичной проблемой разработки мероприятий по защите населённых пунктов от влияния опасных русловых процессов является полнота проектной документации. Во многих случаях обсуждавшиеся проекты были лишены технико-экономического обоснования выбранных вариантов защиты и анализа альтернативных вариантов работ. Результатом становились неэффективные проектные решения. Так, например, на основании полевого обследования и соответствующих экспертных заключений был отклонён проект ДВНИИВХа [Расчистка и спрямление..., 2007] по регулированию русла р. Паланы возле пгт Палана. Проект предполагал строительство канала спрямления на островном пойменном массиве реки в районе пос. Палана для минимизации размывов берега и, в первую очередь, защиты котельной. Как было выяснено при обследовании р. Паланы, существование старого берегоукрепления полностью ликвидировало возможность размыва котельной. Сведения о том, что котельная может быть размыва, не соответствовали действительности, что послужило основанием для отрицательного заключения.

Проведение любых инженерных работ в руслах и по берегам рек связано с нанесением ущерба биоресурсам и, в частности, сообществам лососёвых рыб. Все возможные варианты реализации берегозащитных мероприятий предполагают прямое техногенное воздействие, приводящее к нарушениям состояния среды обитания. Наиболее подверженные проявлению опасных русловых процессов участки разветвлённого русла одновременно являются и наиболее биопродуктивными участками речных систем [Алексеевский, Чалов С.Р., 2009; Есин и др., 2009]. В этих условиях большую важность при выборе вариантов регулирования приобретает размер ущерба, наносимого речным экосистемам.

Примером отсутствия необходимого учёта экологических требований стал тот же проект берегозащиты пгт Паланы. В соответствии с ним [Расчистка и спрямление..., 2007] через пойменный остров планировалось строительство канала, а на пойме — прокладка грунтовых дороги и подъездных путей (рис. 3.50, с. 145). Для проведения строительных работ должны были быть организованы временные дороги и проезд

через р. Палану. Всё это привело бы к уничтожению огромного пойменного массива, многочисленных пойменных проток и потребовало бы значительных компенсаций наносимого ущерба биоресурсам. Анализ альтернативных вариантов, выполненных при проведении экспертизы проекта, показал его несоответствие реальным условиям развития русла. В то же время в экологическом отношении различные варианты береговых укреплений оказывались более предпочтительными, поскольку воздействие на русло наблюдается только в период строительства за счёт проведения механических работ в нём.

Обычной практикой при реализации защитных мероприятий стало игнорирование требований охраны водных биоресурсов в связи с чрезвычайным характером проводимых мероприятий и угрозой жизни людей. С одной стороны, это оправданно, поскольку с учётом угроз возникновения чрезвычайной ситуации выполнение расчёта ущерба водным биоресурсам в случае аварийных ситуаций является нецелесообразным. Спасение имущества и защита людей является приоритетом и не может зависеть от каких-либо экологических, экономических и других факторов. С другой — наблюдается манипулирование понятием «чрезвычайная ситуация». Всего лишь возможное развитие опасных гидрологических процессов может представляться как фактическая угроза населению и тем самым рассматриваться как основание для проведения экстренных мер. На Камчатке довольно распространённым в последние десятилетия было экстренное «непроектное» создание различных берегозащитных сооружений, часто отличающихся недолговечностью. Например, дамба на р. Аваче (рис. 3.27), аварийно созданная в 2006 г. для перекрытия стока через правобережную пойменную протоку, развитие которой вызывало затопление сельскохозяйственных территорий СХПК Кам-Агро, уже в 2007 г. была почти полностью размыта. Сложная русловым аллювием, она легко пропустила воду, что стало фактором её стремительного разрушения. В результате её строительство с последующим разрушением не привело к долгосрочному эффекту по защите размываемых земель, однако нанесло существенный ущерб расположенным ниже по течению нерестилищам лососёвых рыб.

Совершенно очевидно, что аварийно-восстановительные мероприятия — это необходимый экстренный процесс спасения населения от влияния развития опасных русловых процессов. В то же время необходимо принимать во внимание следующее:

1. Аварийные «спонтанные» мероприятия являются временной мерой. Рекомендации по стабилизации русла должны основываться на детальном ретроспективном русловом анализе исследуемого участка и поливариантном прогнозе развития русла на всём участке неустойчивого русла, особенно в пределах аварийных участков. Недоучёт всех факторов развития русла, а также динамики потока может полностью нивелировать эффекты от реализуемых, часто дорогостоящих мероприятий. Примерами такой ситуации служат дамба 2013 г. возле Елизовского водозабора; спрямляющий канал 2008 г. возле пос. Северные Коряки; дамба 2006 г. возле СХПК КамАгро (рис. 3.27).

2. Расчистка русла и проток требует особо детального и аккуратного обоснования. Инженерные решения сопряжены с интенсификацией русловых деформаций на смежных участках реки и негативными последствиями для хозяйственных объектов.

3. Проведение берегоукрепительных работ требует детального обоснования. Мощный слой легко размываемого материала, слагающего пойму, заведомо определяет разрушение береговых укреплений и струенаправляющих шпор до уровня ниже максимальной глубины плёсовых лощин (6–8 м ниже межженного уровня). Кроме того, в условиях крайне неустойчивого русла любые инженерные решения имеют ограниченный срок действия. Например, укрепление одного участка берега при сохранении остальной части берега в свободном состоянии со временем может привести к обходу потоком берегоукреплений.



Рис. 3.27. Необоснованное создание насыпи для борьбы с размывами берегов и препятствия к активизации пойменных проток на р. Аваче (фото А.С. Чаловой)

3.1.4. Водозаборы и экологические проблемы при их эксплуатации

Изобильные водные ресурсы Камчатки при низкой заселённости территории в целом исключают сложности с водообеспечением населения. При этом возникают возможности соблюдения режимов максимально экологически безопасного водопользования. Только два региона требуют значительного объёма забора воды — это Елизовский район и Петропавловск-Камчатский, где в настоящий момент проживает более 75% населения края. Численность населения г. Петропавловска-Камчатского по состоянию на 2010 г. составляет около 195 тысяч человек, а г. Елизово — около 39 тыс. человек, при этом в Елизовском районе проживает около 66 тыс. человек, а включая сельское население — около 25 тыс. человек.

В условиях Камчатского края, реки которого отличаются, с одной стороны, эпизодическими поступлениями больших объёмов твёрдых веществ, а с другой —

интенсивным нерестом лососёвых рыб в летне-осенний период, использование поверхностных вод для питьевого водоснабжения представляется затруднительным, несмотря на большие объёмы водных ресурсов. В этой связи была интенсифицирована программа по освоению месторождений пресных подземных вод. В наиболее густонаселённом районе Камчатского края, Елизовском районе, находятся четыре крупных месторождения пресных подземных вод — Елизовское, Приморское, Сельдевое и Быстринское (рис. 3.28).

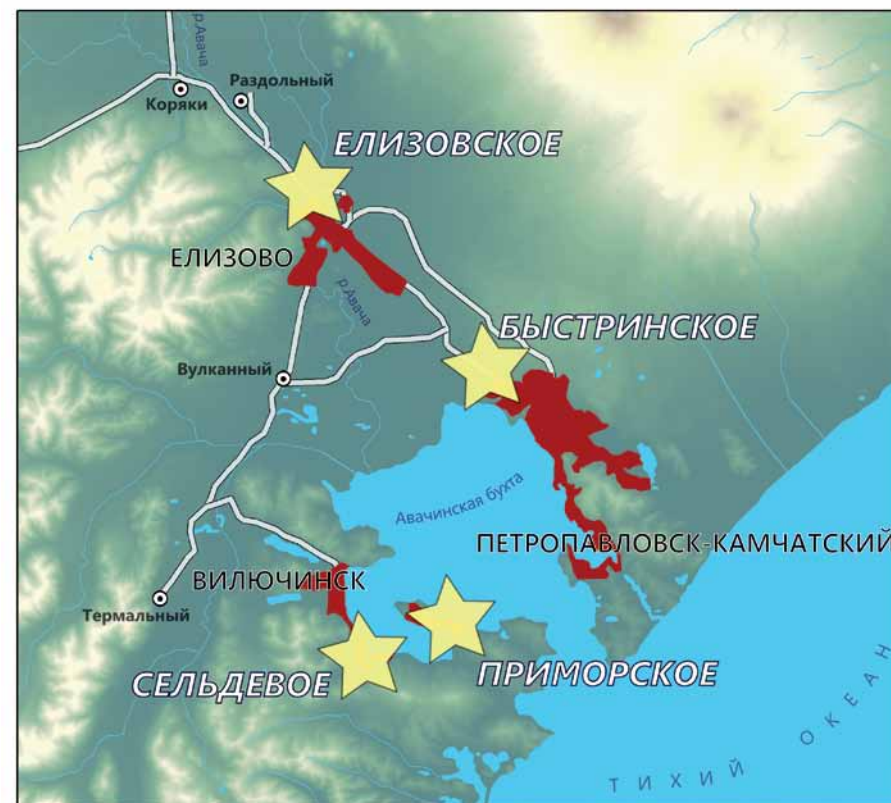


Рис. 3.28. Расположение крупнейших месторождений пресных подземных вод Камчатского края

Елизовское месторождение, расположенное в долине р. Авачи к западу от г. Петропавловска-Камчатского, обеспечивает потребности более чем 50% населения района и практически полностью г. Петропавловска-Камчатского. Месторождение Приморское расположено вдоль бухты Крашенинникова и используется для обеспечения водой г. Вилючинска. Вода месторождения Сельдевое подаётся в посёлки, предприятия и воинские части, находящиеся в южной части побережья Авачинской бухты. Разведанное в 10 км западнее краевого центра с целью водообеспечения в чрезвычайных ситуациях месторождение Быстринское в настоящее время практически не эксплуатируется.

Учитывая изобилие поверхностных водных ресурсов, наиболее перспективными для освоения являются прирусловые месторождения, пополняющие свои запасы из русловых вод. Крупнейшим водозабором Камчатского края в этой связи является Елизовское месторождение, одновременно представляющее собой единственный крупный источник водоотведения, расположенный в долине р. Авачи (на правом берегу). В последние годы отмечалось увеличение интенсивности его эксплуатации. По сравнению с 2002 г. водозабор Елизовского месторождения пресных питьевых подземных вод увеличился в 2005 г. в 1,21 раза, а по сравнению с 2004 г. — в 1,12 раза [Реконструкция..., 2007]. В 2007 г. использование запасов подземных вод Елизовского месторождения составило 57% величины утверждённых эксплуатационных запасов. В перспективе забор воды может в 1,5 раза превысить современные объёмы. Расположение водозабора в пределах пойменного массива непосредственно на берегу крупного пойменно-руслового разветвления р. Авачи привело к созданию здесь ряда экологических проблем, связанных с эксплуатацией водозабора.

Функционирование Елизовского водозабора связано с проявлением опасных русловых процессов, а также рисками для сообществ водных организмов. Переформирования русел рек и перераспределение стока воды оказывается фактором снижения технической устойчивости сооружений, расположенных в прибрежной (пойменной) зоне. Одновременно меняются условия восстановления запасов подземных вод и, следовательно, устойчивого водоотведения.

Соблюдение устойчивого отбора воды

Устойчивый отбор воды определяется величиной эксплуатационных запасов подземных вод (далее — ЭЗПВ). Величина ЭЗПВ — количество воды, которое может быть получено на месторождении с помощью технически обоснованных водозаборных сооружений при заданном режиме и условиях эксплуатации, а также при качестве воды, удовлетворяющем требованиям целевого использования в течение расчётного срока водопотребления с учётом природоохранных требований [Штенгелов, 1988]. Источники формирования ЭЗПВ могут быть естественными и антропогенными, природными (ёмкостными и динамическими), искусственными и привлекаемыми [Боревский и др., 1988]. Балансовое уравнение изменения ЭЗПВ выглядит следующим образом:

$$Q_d = \varepsilon + Q_b + Q_{n.v.} + Q_e = Q_u + Q'_b + Q'_{n.v.} + Q'_e,$$

где ε — инфильтрационное (и конденсационное) питание; Q_u — разгрузка путём испарения и транспирации; Q_b, Q'_b — водообмен (приток и отток) со смежными гидрогеологическими системами (для отдельных водоносных горизонтов и комплексов водообмен с выше- и нижезалегающими горизонтами и комплексами через разделяющие слои); $Q_{n.v.}, Q'_{n.v.}$ — соответственно питание из поверхностных водотоков и водоёмов и подземный приток в них; Q_e, Q'_e — питание и разгрузка подземных вод за счёт изменения ёмкостных запасов. Наибольшее значение для оценки ЭЗПВ имеет величина инфильтрационного питания, поступление речных вод в подземные водоносные горизонты и величина подземного питания рек. Для прирусловых месторождений подземных вод поверхностный сток — ведущий фактор формирования ЭЗПВ (даже в условиях межени).

Высокая степень инфильтрационного питания связана с региональной спецификой строения долин (рис. 3.29). Мощный слой водоносных горизонтов, как правило, в долинах рек, приуроченных к голоценовым аллювиальным отложениям (aQ_{IV}), определяет интенсивную водоотдачу руслового стока. Это приводит

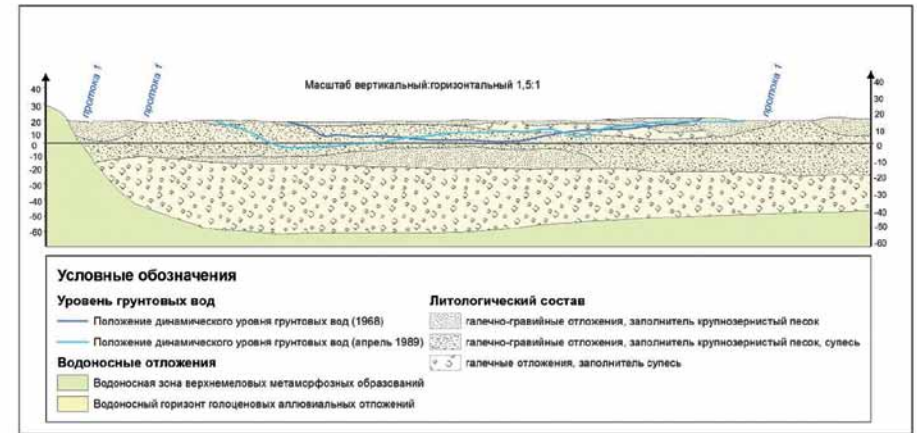


Рис. 3.29. Строение долины р. Авачи в районе Елизовского месторождения пресных подземных вод

к отрицательному русловому балансу [Чалов С.Р., Есин, 2006; Ермакова, 2008а]. В долине р. Авачи общая мощность водоносного горизонта достигает 100 м, непосредственно в пределах Елизовского месторождения составляя 70–71 м. Водовмещающие отложения представлены гравийно-галечными породами с песчаным и супесчаным заполнителем. В толще гравийно-галечных пород отмечаются маломощные (до 3 м) прослои и линзы супесчано-суглинистого состава.

За время многолетней эксплуатации Елизовского месторождения сформировался режим круглогодичного питания подземных вод аллювиального горизонта за счёт поверхностных вод р. Авачи и её проток. По результатам проводимых в 1989–1991 гг. гидрометрических работ на протоках р. Авачи, потери стока крайних пойменных проток возле водозабора в разные периоды водности составляли от 0,21 до 0,7 м³/с. Годовая изменчивость уровней подземных вод в водозаборных и наблюдательных скважинах характеризуется значительными амплитудами и связана как с естественными факторами (гидрологическим режимом р. Авачи и её проток), так и с режимом работы отдельных скважин водозабора. Характерный график внутригодового режима уровней подземных вод (за 2006 г.) (рис. 3.30) показывает, что максимальные отметки уровней подземных вод характерны для летнего (июнь) и зимнего (декабрь–март) периодов. Летний максимум связан с подъёмом уровней поверхностных вод р. Авачи и её проток за счёт снеготаяния, а зимний — с их подъёмом в результате ледового подпора, что приводит к затоплению островного участка водозабора. Устойчивые сезонные минимальные отметки уровней характерны для весеннего (апрель–май) и осеннего (октябрь–ноябрь) периодов. Если в меженный период положение уровня подземных вод ниже уровня поверхностных на 2 м и более, то в период половодья (июнь), характеризующегося максимальными уровнями проток, эта разница может сокращаться до 1–0,5 м и менее.

Изменение условий питания подземных вод и величина эксплуатационных запасов связаны в первую очередь с перераспределением стока между рукавами разветвлённого русла р. Авачи на участке в 1,5–2 км выше по течению от Елизовского месторождения подземных вод (рис. 3.31). Русло реки относится к типу неустойчивых, для участка характерны высокие темпы развития горизонтальных деформаций. Основной тип переформирования русла заключается в активизации одних и отмирании других

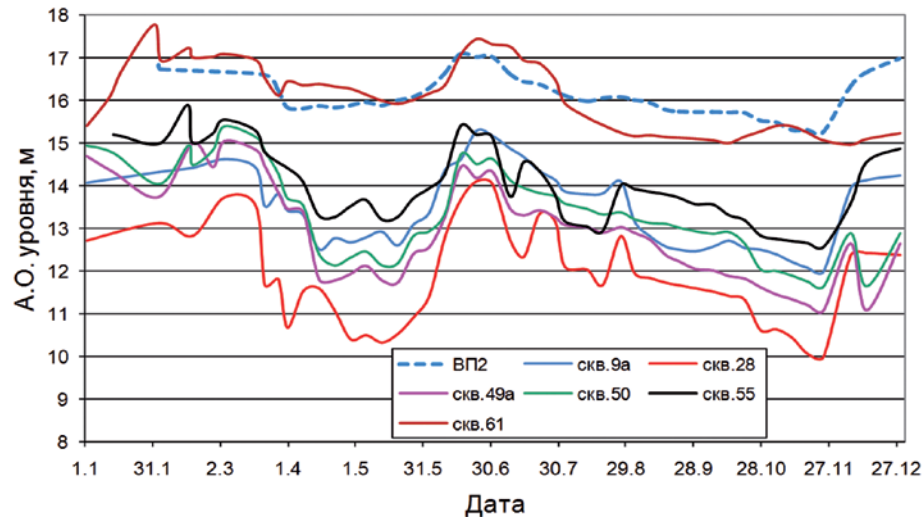


Рис. 3.30. График внутригодового режима уровней поверхностных (водомерный пост ВП 2) и подземных вод по створу скважин протоки № 2 за 2006 г. [Реконструкция..., 2007].

водотоков разветвления, а также в соответствующем перераспределении расходов воды между рукавами. Основными факторами направленных горизонтальных деформаций разветвлённого русла р. Авачи является изменение уровней и расходов воды, стока взвешенных и влекомых наносов, активизация и отмирание водотоков, продолжительности и площади затопляемой поймы (в том числе островов и осерёдков), неотектонические движения по Петропавловско-Крутогоровской глубинной шовной зоне.

Размывы берегов

Основной характеристикой развития русла за период функционирования водозабора стало постепенное увеличение водоносности правых рукавов, непосредственно примыкающих к водозабору. В протоке 3 (рис. 3.32) сток реки в зимний период (минимальный расход воды 95% обеспеченности) составлял 31 м³/с. При этом сток в протоке 6, проходящей через территорию водозабора, был равен 1,79 м³/с, а в непосредственно примыкающей к водозабору протоке 7 — 7,41 м³/с (данные на май 1967 г.). В межень 2010 г. в рамках обследования р. Авачи измеренные расходы воды составили 1,33 и 12,8 м³/с при расходе воды в р. Аваче 150 м³/с, т. е. около 0,8 и 8% от общего расхода воды соответственно. Это свидетельствует об увеличении расхода воды в правых рукавах по сравнению с данными 1967 г.

На фоне многолетних колебаний водности реки между рукавами в условиях неустойчивого русла наблюдаются быстрые переформирования, которые могут приводить к угрозе разрушения объектов, расположенных на берегу Авачи. В 2008–2009 гг. в результате активизации правых протоков произошёл подмыв берега непосредственно вдоль расположения водозаборных скважин. Изначально это было связано с перекрытием истока протоки 7 крупным заломом (рис. 3.32),

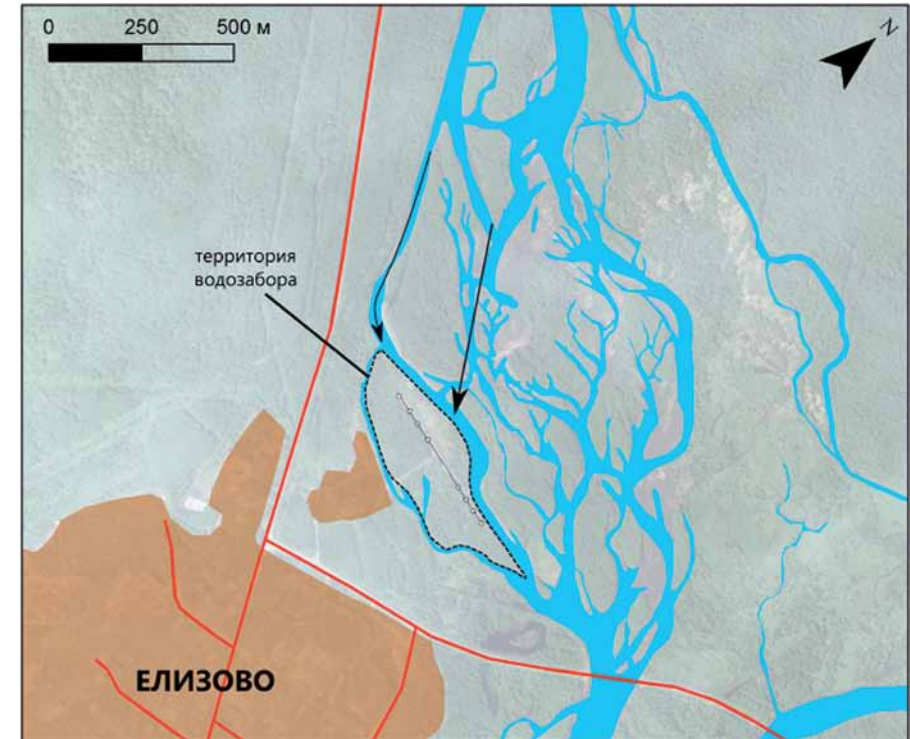


Рис. 3.31. Карта-схема участка р. Авачи в районе Елизовского водозабора. Стрелками показано направление перераспределения стока в паводочный период

определившим перераспределение расхода воды в пользу центральных протоков с последующим прорывом острова и образованием поперечной протоки 9. После прохождения половодья 2009 г. у правого берега протоки 7 вдоль эстакады водозабора на протяжении более 450 м частично произошло разрушение защитной насыпи из песчано-гравийной смеси (дамба 2), расширение протоки 9, общее увеличение поперечного сечения из центральных протоков в сторону протоки 7. С другой стороны, это привело к уменьшению расхода воды в верхнем течении протоки 7 с последующим её заилием и снижением питания подземных вод. В 2013 г. происходила дальнейшая активизация проявлений опасных русловых процессов в районе г. Елизово, связанных с постепенным перераспределением стока в правобережную систему протоков. Важным фактором этого процесса в 2013 г. стал экстремально высокий паводок р. Авачи, наблюдавшийся в начале июня, во время которого расходы воды были близки к расходам 1%-й обеспеченности. Это привело к мощному размыву береговой линии протоки 7 с непосредственной угрозой разрушения сооружений водозабора.

Сезонные перераспределения стока в системе рукавов и последовавший за этим размыв береговой линии водозабора был признан Администрацией Елизовского муниципального района чрезвычайной ситуацией муниципального уровня. В рамках её ликвидации были выполнены аварийно-восстановительные работы, заключавшиеся

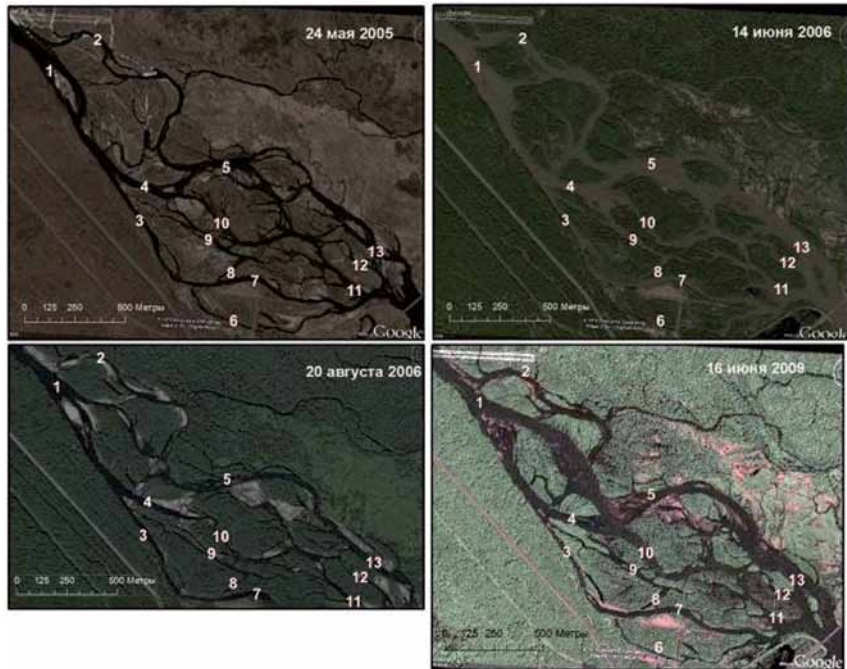


Рис. 3.32. Сопоставленные планы русла р. Авачи в районе Елизовского водозабора (по материалам С. Лебедевой. Космические снимки)

в дополнительном укреплении берега протоки 7 реки Авачи скальным грунтом (рис. 3.33 Б). В течение двух дней после окончания аварийных работ на названном отрезке насыпи произошёл очередной размыв укрепленного берега длиной до 15 м и шириной 0,4 м (рис. 3.33 Г).

Экологические последствия эксплуатации водозабора

Забор воды из подземных горизонтов оказывает меньшее влияние на поверхностный сток по сравнению с водозабором непосредственно из рек. Однако в условиях постоянной инфильтрации и депрессионной воронки наблюдается изменение гидрологического режима водных объектов в части снижения речного стока. Вместе с тем забор воды сравнительно невелик — он составляет менее 2–3% минимального стока р. Авачи у г. Елизово. Депрессионная воронка, образующаяся при работе водозабора, также имеет локальное распространение — она простирается в радиусе до 1 км от водозабора.

Методической основой предельной степени воздействия водозабора на речные системы является определение экологического стока, соответствующего условиям сохранения сообществ водных организмов. Как правило, учитывается обеспечение условий воспроизводства и сохранения запасов ценных рыб, включая их кормовую базу, а также состояние прибрежных территорий (обводнение поймы, сохранение ценных биоценозов и ландшафтов). Такие условия требуют введения определённых ограничений на режим водопользования [Методические указания..., 1987].



Рис. 3.33. Основные объекты и процессы, оказывающие влияние на режим поверхностных вод р. Авачи в районе Елизовского водозабора: А — шпунтовая стенка в истоке протоки 6 (фото С. Р. Чалова); Б — дамба 2 вдоль правого берега протоки 7 (фото С. Р. Чалова); В — перекрытие заломом истока протоки 7 (фото С. Р. Чалова); Г — размыв аварийной дамбы, созданной в период прохождения паводка 2013 г. по правому берегу протоки 7 (фото предоставлено Администрацией Елизовского муниципального района)

В частности, из русел рек и водотоков на участках многорукавного русла запрещено изымать воду, если их водоносность меньше или равна $\frac{1}{4}$ расхода воды в половодье года 95%-й обеспеченности. В другие месяцы года изъятия стока не должны приводить к уменьшению водоносности реки (рукава) по сравнению с минимальным средним месячным расходом воды в год 95%-й обеспеченности по стоку. В целях ужесточения экологических ограничений водопользования в качестве предела может рассматриваться и средний месячный расход воды 99%-й обеспеченности.

Его применение для объектов, расположенных по берегам камчатских рек, в частности Елизовского водозабора, требует учёта рассредоточения стока по рукавам, которое сопровождается уменьшением доступного объёма воды для коммунально-бытового или промышленного водоснабжения [Алексеевский, Чалов С.Р., 2009]. Очевидно, что это ограничение связано не только с закономерным

уменьшением расходов воды в рукавах по сравнению с неразветвлённым участком русла реки, но и с экологическими нормативами изъятия воды. При общем уменьшении водоносности рукавов в сравнении с неразветвлённой рекой доступные водные ресурсы уменьшаются на величину минимального экологического стока, соответствующего минимальному расходу воды, уменьшение которого способно угнетать (приводить к устойчивой деградации) водных биоценозов [Коренева, Христофоров, 1993; Фащевский, 1996 и др.].

Для определения максимально возможного изъятия воды из рукавов разветвлённого русла р. Авачи предложено определять величину допустимого изъятия стока с учётом особенностей внутригодовых колебаний расходов воды. Для этого допустимое изъятие стока единой неразветвлённой реки оценивается по гидрографу естественного стока 99%-й вероятности превышения [Фащевский, 1996]. Определение экологического стока в рукавах разветвления в таком случае производится с учётом изменчивости расходов воды в рукаве, соответствующей году такой водности, т. е. с учётом ежедневных данных $Q_{i,99\%}$ (рис. 3.34). Разность $Q - Q_{i,99\%}$ даёт максимально допустимое изъятие воды в данных гидрологических условиях.

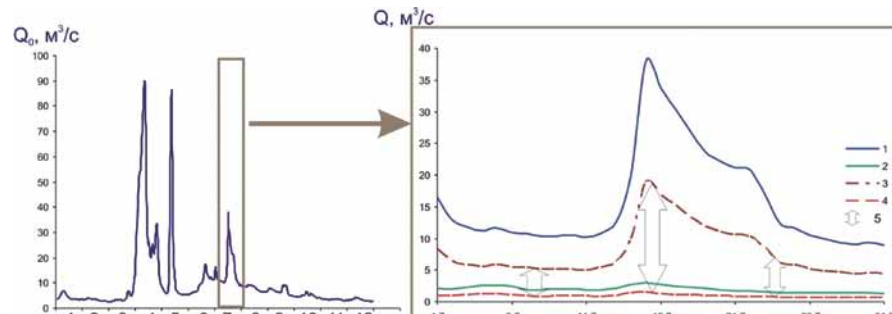


Рис. 3.34. Схема для определения максимально допустимого изъятия воды (5) из русла р. Авачи в районе г. Елизово. Изменение расходов воды: 1 — в русле реки в маловодный год; 2 — в рукаве разветвления; 3 — в русле реки в год 99 %-й вероятности превышения; 4 — аналогично в русле рукава; 5 — допустимое изъятие воды из русла рукава а – многоводный год (1967 г.), б – средний по водности (1980 г.), в – маловодный год (1979 г.)

3.1.5. Речной лососёвый промысел

На Камчатке рыбное хозяйство исторически играет определяющую роль. Ещё Г. В. Стеллер в 1774 г. отмечал, что «Камчатка питается почти исключительно рыбой. Несмотря на то, что реки и озёра этой страны не обладают ни одной собственной породой рыб, как это наблюдается в других удалённых от моря местностях, можно всё-таки поставить вопрос, есть ли на земле другая, кроме Камчатки, страна, которая имела бы большее обилие самой лучшей и вкусной рыбы?». Камчатка — это один из основных регионов воспроизводства лососей в мире. На рыбной промышленности издавна держится экономика Камчатки. Рыбная промышленность остаётся ведущей в экономике региона, на её долю приходится 55% промышленного производства и половина всей численности промышленно-производственного персонала.

Рыбный промысел осуществляется в море и на реках на лицензионных рыбопромысловых участках. В соответствии с «Перечнем рыбопромысловых

участков» [Перечень..., 2009], всего в пределах Камчатского края (исследуемая территория) действует 234 рыбопромысловых участка, из которых 139 относятся к промышленному рыболовству, а 95 — к традиционному

Таблица 3.7. Рыбопромысловые участки Камчатского края (по данным Перечня..., 2009)

Территория	Количество участков*			Длина участков, м				
	ПР	КМНС	Всего	ПР	КМНС	Всего		
П-ов Камчатка (без Пенжинского р-на и северной части Олюторского)	139	95	234	188000	109570	297570		
из них	бассейн Охотского моря							
	в т. ч.	р. Озёрная	10	–	10	5200	–	5200
		р. Опала	4	–	4	6700	–	6700
		р. Большая	11	4	15	9050	3250	12300
		р. Б. Воровская	6	1	7	9300	1000	10300
		р. Ича	3	1	4	5500	1000	6500
		р. Воямполка	1	7	8	200	2020	2220
		р. Тигиль	4	14	18	5400	16500	21900
		р. Хайрюзова	5	2	7	1300	1000	2300
		р. Палана	5	9	14	2000	2400	4400
р. Лесная	3	3	6	300	2100	2400		
остальные 26		38	18	56	39650	10700	50350	
бассейн Тихого океана		49 (в т. ч. 3 – рыбо- водство)	36	85	103400 (в т. ч. 20000 – рыбо- водство)	69600	173000	
в т. ч.	р. Камчатка	14	13	27	25650	26000	51650	
	р. Вывенка	1	6	7	1000	25000	26000	
	р. Хайллоля	4	1	5	3500	1000	4500	
	р. Култужная	1	4	5	1000	5000	6000	
остальные 31		29	12	41	62250	12600	84850	

Лицензионные участки: ПР — Промышленное рыболовство; КМНС — Традиционное рыболовство коренных малочисленных народов Севера.

* без участков спортивно-любительского рыболовства

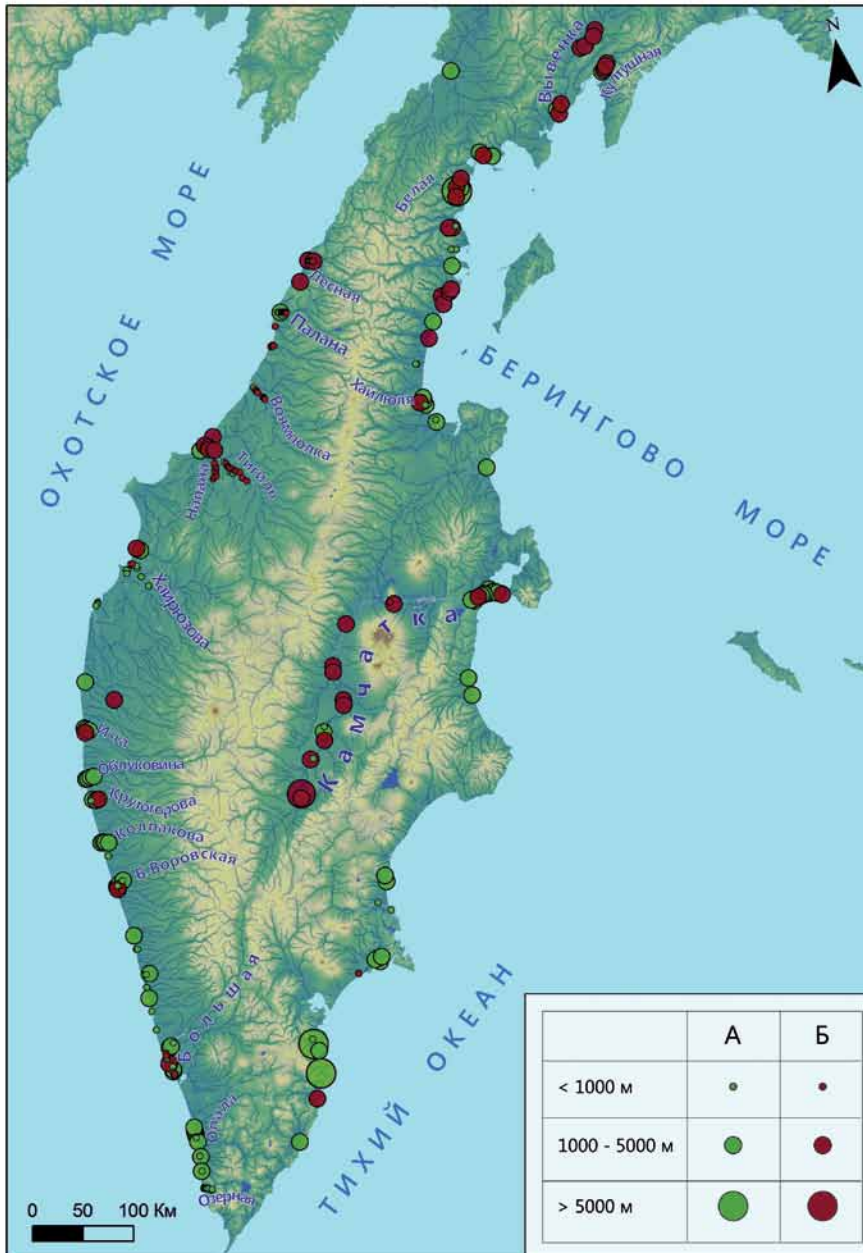


Рис. 3.35. Протяжённость основных речных рыбопромысловых участков Камчатки:
А — промышленные участки, Б — участки коренных малочисленных народов

рыболовству коренных малочисленных народов Севера (КМНС) (табл. 3.7). По территориальному признаку характерно преобладание рыбопромысловых участков на реках бассейна Охотского моря (149 участков суммарной длиной 124,5 км) по сравнению с реками, впадающими в Тихий океан и Берингово море.

Речные рыбопромысловые участки находятся в основном в предустьевой части рек (рис. 3.35). Удалённые от моря рыбопромысловые участки расположены по длине только крупнейших рек Камчатки. В то же время эта картина лишь отчасти характеризует реально развитие речного рыбного промысла из-за повсеместного браконьерства, которое давно стало главной и определяющей проблемой рыбной отрасли и всей экономики Камчатки [Региональная концепция..., 2010].

Одним из наиболее конфликтных и сложных вопросов является разделение лицензионных участков лова рыбы по берегам рек. В результате развития частного бизнеса существует большое количество компаний, ведущих рыбодобычу. Однако регулирование разрешённых объёмов вылова и разделения участков (как речных, так и морских) постоянно становится предметом споров и противоречий. В условиях естественных или антропогенно обусловленных переформирований русел рек меняется скоростная структура речного потока, что определяет изменение путей миграции лососёвых рыб. В результате некоторые участки рыбодобычи могут оказаться в «безрыбной» зоне, некоторые, наоборот, получают преимущественное положение.

Желание улучшить условия рыбного лова приводит к ведению дноуглубительных работ, которые часто меняют и так неустойчивый русловой режим камчатских рек. Такая ситуация особенно характерна для крупнейших рек западного побережья Камчатки, где осуществляется интенсивный рыбный промысел. Для расчистки устьевых горла и обеспечения прохода судов к посёлкам Октябрьский, Озерновский и др. рыбодобывающие предприятия получают доступ к водному объекту в соответствии с действующим законодательством. В рамках лицензии на водопользование предприятия выполняют расчистку устьевых горла реки для обеспечения прохода судов. Предприятие, имеющее лицензию, должно каждый год предоставлять в краевое правительство документ с указанием и обоснованием периода расчистки, её площади, объёмов и местоположения участков расчистки. В данном документе регламентируется методика расчистки, в частности, вводится запрет на заход автотехники в воду, на переформирование береговой линии; лимитируется допустимое взмучивание воды в реке; указывается местоположение отвалов грунта, которые должны находиться за пределами водоохранной зоны реки. Сложность контроля соблюдения правил водопользования и противоположность интересов разных хозяйствующих объектов, владеющих лицензиями на лов рыбы, приводит во многих случаях к конфликтам в управлении рыбным промыслом. Такого рода ситуация на р. Озёрной в районе пос. Озерновский и Запорожье широко освещалась в местной прессе [Рыбак Камчатки, 2007, 2010а, 2010б, 2011]. Стремление повысить свои уловы способствует нарушению правил рыболовства различными рыбодобывающими компаниями, что заключается в их попытках самовольно регулировать водный поток путём углубления и расширения «своих» проток, участков русла, укрепления берега и т. д., т. е. создания условий, способствующих направлению мигрирующих рыб через «свои» же рыбодобывающие участки.

Проводимое регулирование русел, направленное на оптимизацию рыбного промысла, имеет ряд негативных экологических последствий. Наиболее существенным является превышение рыбохозяйственных ПДК по содержанию твёрдой взвеси в воде. При образовании искусственных пазух, отделённых от реки гребнями грунта, возможна гибель молоди рыб, попавшей туда на подъёме воды и оставшейся изолированной при понижении уровня.

3.2. Примеры проявления опасных русловых процессов

3.2.1. Эксплуатация надземных переходов трубопровода

Исследования надземного перехода магистрального газопровода (далее — МГ) проведены в период с лета 2010 г. по весну 2012 г. включительно на участке р. Авачи ниже пос. Северные Коряки. Воздушный переход трассы МГ расположен на участке сужения пойменного массива (до 1100 м), где ширина пояса активных русловых переформирований в 1,5 раза меньше, чем на вышележащем участке реки. Дно долины Авачи в створе перехода неровное (рис. 3.36), с семью постоянными и временными протоками, имеющими в летний период ширину от 2–5 до 20 м, и двумя широкими протоками — первой от 35 м и второй до 80 м. Русло проток сложено валунно-галечным материалом. Низкая пойма имеет высоту до 0,5 м и сложена песчано-галечниковыми отложениями. Средняя пойма имеет высоту от 1,0 до 2,0 м и сложена галечно-гравийными отложениями русловой фации и песчаными отложениями пойменной фации.

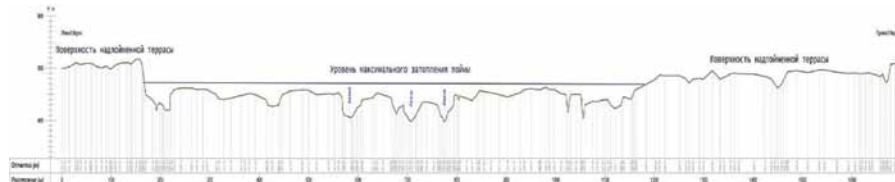


Рис. 3.36. Поперечный профиль долины р. Авачи в створе перехода магистрального газопровода

Технический коридор трассы МГ в пределах участка наземного перехода через Авачу после завершения строительства составил 90–100 м и в 2010 г. включал в себя приграссовый строительный проезд, полосу земельного отвода под траншею газовой трубы и строительство наземной инфраструктуры (основных и резервных ниток воздушных переходов, линейных крановых узлов с блок-контейнерами энергоснабжения, вдольтрассовой линии электропередач ВЛ-10кВ) (рис. 3.37). Общая площадь поверхности с насыпным грунтом составила около 1,5 га. Вырубка леса с удалением (погребением) почвенно-растительного слоя во время строительства и после него была проведена в 2009 и 2010 гг. (рис. 3.38 А). Расстояние между двумя резервными нитками воздушного перехода трубопровода составило 35 м. Расстояние от оси каждой из ниток трубопровода до края просеки — около 30 м. При проведении строительных работ на ряде участков была проведена подсыпка песчано-гравийного материала, которым перекрыли русла некоторых проток (рис. 3.38 Б).

Наземный переход через две наиболее крупные протоки Авачи был выполнен на пяти фермах (3 на верхней и 2 на нижней нитке) (рис. 3.39, 3.40), на остальной части перехода, в том числе при пересечении второстепенных проток — на эстакадах с опорами высотой до 3–4 м, установленными через каждые 12,5 м.

По состоянию на 16 июня 2010 г. просвет пролётных строений ферм над уровнем воды составлял от 1,5 до 2,0 м. Вместе с тем по опросным сведениям (по сообщениям представителей турфирм, осуществляющих сплавы по Аваче на рафтах), в период максимальных паводков этот просвет сокращался до 1 м, что вынуждало туристов обносить рафты вокруг ферм по берегу.



Рис. 3.37. Общий вид на технологический коридор трассы магистрального газопровода и воздушный двухниточный переход газопровода через долину Авачи (фото А. В. Улатова, 2010 г.)

После строительства МГ выше створа перехода в наиболее широком (до 80 м) правом рукаве выше по течению стали формироваться крупные галечниковые осередки, на которых задерживались плывущие вниз по течению реки корчи и стволы деревьев (рис. 3.41). Часть их, застревая у опор перехода, стала образовывать свалы под- и перед ними, что приводило к более крупному нагромождению стволов деревьев с образованием завалов, формированием водоворотных зон, изменением направления течения и усилением бокового размыва. При этом подсыпка галечника для увеличения высоты поймы на правом берегу основной протоки не спасала её от размыва (рис. 3.42).

Перекрытие искусственными насыпями второстепенных проток способствовало концентрации стока воды во время прохождения дождевых паводков и половодья в основных рукавах, приводя к более интенсивным в них русловым переформированиям и повышенному сносу топлива и карчей к опорам ферм воздушных переходов. Вследствие этого уже в первый год после строительства перехода МГ во время спада весенне-летнего половодья течение воды стало подмывать грунт у всех бетонных оснований верхней фермы наземного перехода (рис. 3.43) и первый ряд из двух свай нижней фермы перехода на левом берегу правой протоки.

Выше створа перехода активизировались эрозионно-аккумулятивные процессы, изменившие морфологические характеристики русла. Значительно увеличилось по площади аккумулятивное поле непосредственно выше перехода МГ.



Рис. 3.38. Общий вид на участок технического коридора переход газопровода через долину Авачи: А — 2010 г.; Б — 2011 г. (фото А. В. Улатова)



Рис. 3.39. Двухниточный воздушный переход трассы магистрального газопровода через вторую по величине и объёму стока (на лето 2011 г.) протоку Авачи (фото А.В. Улатова)



Рис. 3.40. Ферма надземного перехода одной из двух ниток магистрального газопровода через вторую по величине (на лето 2011 г.) протоку Авачи (фото А.В. Улатова)

Наравне с естественными гидравлическими предпосылками, связанными с общим расширением русла и снижением транспортирующей способности потока после масштабных русловых переформирований в 2007–2009 гг. в районе пос. Сев. Коряки, повышенной аккумуляции способствовало подпорное воздействие, возникающее от опор свай надземного перехода. В последнем случае во время прохождения паводков они выступали в качестве дополнительных препятствий, вокруг которых концентрировались небольшие древесные заломы (рис. 3.44), тормозившие поток и способствующие более активной аккумуляции выше по течению. В результате такого комплексного воздействия на участке площадью около 30 тыс. м² сформировался мощный галечно-валунный побочень, поверхность которого покрыта древесными стволами и карчами. По сути, он стал выступать в качестве островного массива, который делит поток на два рукава, не давая ему беспрепятственно перемещаться по всей ширине свободной от залесённых участков поверхности поймы. В наибольшей степени такое направляющее воздействие стал испытывать правый рукав, в котором сосредоточивается основной расход воды. Это привело к активному его смещению в сторону правобережной залесённой поймы, способствуя интенсивному размыву береговой линии. Только за период с 2009 г. размыв берега здесь достигал 25 м/год.



Рис. 3.41. Галечниковые осередки в русле р. Авачи с заваля на них стволов деревьев (фото А.В. Улатова)



Рис. 3.42. Подсыпка крупным галечником низкой поймы для уменьшения размыва правого берега основного рукава (фото А.В. Улатова)



Рис. 3.43. Подмыв левого берега и бетонных оснований береговой опоры верхней фермы наземного перехода в первый год после строительства (фото А.С. Завадского)



Рис. 3.44. Локальные древесные заломы, формирующиеся вокруг опор верхней нитки наземного перехода магистрального газопровода (фото А.С. Завадского, декабрь 2011 г.)

В связи с аккумуляцией материала выше перехода МГ отмечалось резкое увеличение уклонов русла на участке непосредственно в его створе (рис. 3.45). В табл. 3.8 приводятся данные об изменении уклонов водной поверхности по длине всего анализируемого участка русла.

К началу 2012 г. развитие правобережной протоки, являющейся спрямляющим рукавом излучины, сформировавшейся за 2006–2009 гг., и шпорой, которая представлена описанным выше аккумулятивным полем с мощными древесными

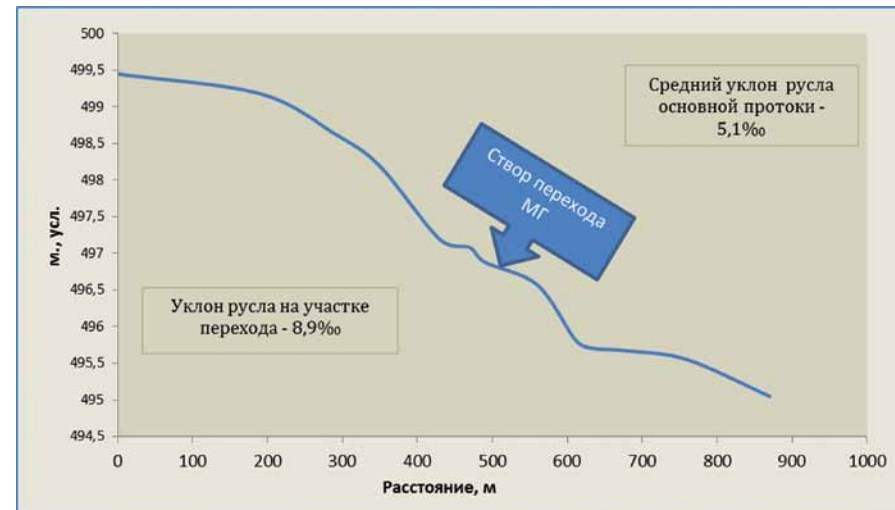


Рис. 3.45. Продольный профиль основной протоки Авачи выше и ниже перехода магистрального газопровода в период зимней межени 2011–2012 гг.

заломы, стало ведущим руслоформирующим процессом на участке перехода. В русле было отмечено развитие спрямляющих проток в шпорах излучин и переход в них основной части расхода воды на всём протяжении русла Авачи вдоль пос. Северные Коряки. Таким образом, сформировался новый относительно прямолинейный рукав, общей длиной около 2 км, опирающийся левым берегом на залесённый пойменный массив, ниже по течению на мощные древесные завалы, а правым — на галечно-валунные отмели выпуклых берегов правосторонних излучин. Упираясь в выступ правобережной поймы, водный поток способствовал активному его размыву, а также создавал угрозу активизации ряда правобережных пойменных проток, которые уже были достаточно хорошо развиты. В крупнейшей из них сток воды не прекращался даже в условиях низкой зимней межени. Во время зимних оттепелей 2012 г. вода выходила на лёд, осуществляя сток поверх него и растекаясь по заснеженной пойме, формируя поперечные перетоки вдоль опор наземного перехода.

Таблица 3.8. Уклоны водной поверхности в пределах исследуемого участка русла Авачи

Участок русла Авачи	Уклон водной поверхности, ‰
Весь исследуемый участок*	3,1
Верхний подучасток (выше пос. Северные Коряки)*	2,3
Нижний подучасток (в пределах и ниже пос. Северные Коряки)	3,8
Правый рукав в районе перехода	5,1
Локальный уклон выше и ниже перехода (250 м)	8,9
Уклон дна долины на всём участке*	~4,1

*По картографическим материалам

Неблагоприятная ситуация на переходе газопровода в 2010 и 2011 гг., таким образом, была связана со следующими процессами:

— предпосылками к смещению русла и развитию старичных протоков, в результате чего балочные переходы МГ с глубокими (9 м) свайными фундаментами могли оказаться частично или полностью «на суше», а эстакадная часть с неглубокими (1 м) столбчатыми фундаментами — в руслах вновь возникших протоков;

— низким высотным уровнем трубы, увеличивающем вероятность её непосредственного контакта с водой и образованием заломов древесной растительности с последующим их механическим воздействием на тело трубы. В частности, при прохождении экстремально высокого половодья 2013 г. при максимальном измеренном расходе в створе пос. Северные Коряки 524 м³/с, соответствующего расходу 3–5%-й обеспеченности, была затоплена нижняя часть конструкции перехода (фермы). Это могло привести к формированию в центре русла заломов и связанному с этим перераспределению расходов воды в сторону правого берега.

В результате, просуществовав 2 года, наземный переход через р. Авачу был демонтирован, и на его месте выполнен траншейный переход.

3.2.2. Эксплуатация траншейных переходов трубопровода

В марте 2012 г. была выполнена подземная укладка трубопровода (рис. 3.46).



Рис. 3.46. Магистральный газопровод «УКПГ Нижне-Квакчикского ГКМ — АГРС г. Петропавловска-Камчатского» в створе пересечения через р. Авачу: наземный вариант (до 2012 г.) и подземный (после 2012 г.) (фото С.Р. Чалова)

Максимально возможные глубины, допускаемые в створе перехода, были оценены в 2,5 м (от минимальных уровней зимней межени 95% обеспеченности), соответственно было рекомендовано заглубление трубы ниже 3 м от минимальных уровней зимней межени 95% обеспеченности (рис. 3.47). Одновременно учитывалось, что на участке непосредственно выше перехода МГ русло р. Авачи продолжает активную фазу переформирования, связанную с перераспределениями между рукавами крупного пойменно-руслового разветвления у пос. Северные Коряки. Развитие ниже пос. Северные Коряки нового прямолинейного участка русла приводит к активным деформациям в районе правобережного пойменного сегмента. Набегание потока на него под углами, близкими к прямым, приводит при руслонаполняющих расходах воды к интенсивному его размыву (до 10–15 м/год), а при дальнейшем их увеличении

придаёт дополнительный импульс к развитию пойменных протоков, пересекающих параллельно основному правому рукаву створ перехода МГ. Последние к настоящему времени уже достаточно хорошо развиты и начинают активно функционировать даже во время зимних оттепелей, пока их резкое развитие сдерживается серией заломов ниже створа перехода МГ, а также осуществленной в 2010 г. при строительных работах их пересыпкой валунно-галечным материалом (с целью стабилизации вертикальных деформаций). Плановая неустойчивость русла определила рекомендацию по заглублению трубы ниже отметок профиля предельного размыва по всей ширине поймы.

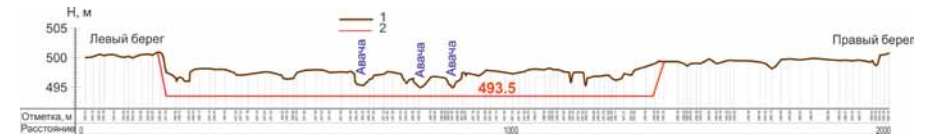


Рис. 3.47. Морфометрический профиль долины р. Авачи в створе перехода магистрального газопровода с нанесённым положением профиля предельного размыва

1 – морфометрический профиль в коридоре проектируемого газопровода (построен по материалам топографической съёмки. Система высот условная); 2 – профиль предельного размыва.

Проект реконструкции перехода был выполнен до завершения процесса изысканий, в результате чего проектной организацией ООО «ИВА» (г. Тюмень) пришлось неоднократно менять проектную глубину заложения дюкера подземного перехода МГ с целью соблюдения нормативного погружения трубопровода на глубину 0,5 м ниже профиля предельного размыва. Во время разработки траншей в апреле 2012 г. наличие сезонной мерзлоты в грунтах на берегах и под руслом двух наиболее крупных протоков значительно затруднило прокладку газопровода. Строители были вынуждены приостановить работы экскаваторов, не оснащённых скальными ковшами, и переоборудовать часть экскаваторов гидромолотами для предварительного рыхления грунта. Это привело к распространению шлейфа мутности по длине р. Авачи, зафиксированную вплоть до её слияния с р. Пиначева (гл. 3.1.2). Строительство велось без производственного экологического контроля и авторского надзора (конкурс на осуществление первого не объявлялся, последнего — был объявлен только в июне 2012 г., т. е. через 1,5–2 месяца после завершения всех работ по строительству дюкера). В этой связи соблюдение требований обеспечения безопасной глубины заложения трубы не оценивалось.

После завершения работ по строительству дюкера (реконструкции перехода) с мая 2012 г. по февраль 2013 г. работы выполнялись по берегоукреплению, в ходе которых были использованы габионные сетчатые изделия (ГСИ, матрацы Рено) — габионы матрацного типа. В правых пойменных протоках было проведено укрепление дна русла и его расчистка, что привело к быстрому развитию регрессивной эрозии. В створе основной и резервной нитки в пределах межниточного пространства, а также выше и ниже по течению на 30–40 м от укрепленного участка был нарушен естественный русловый продольный профиль обеих протоков (рис. 3.48). Последующий 6–7-кратный рост уклонов водной поверхности по сравнению с естественными значениями привёл к формированию разницы абсолютных естественных отметок дна и верха габионных сетчатых изделий, уложенных в русло, до 0,5–0,6 м. Проведённые технические мероприятия (сведение растительности, разработка траншей) способствовали дальнейшему перераспределению стока в сторону правобережных работ.

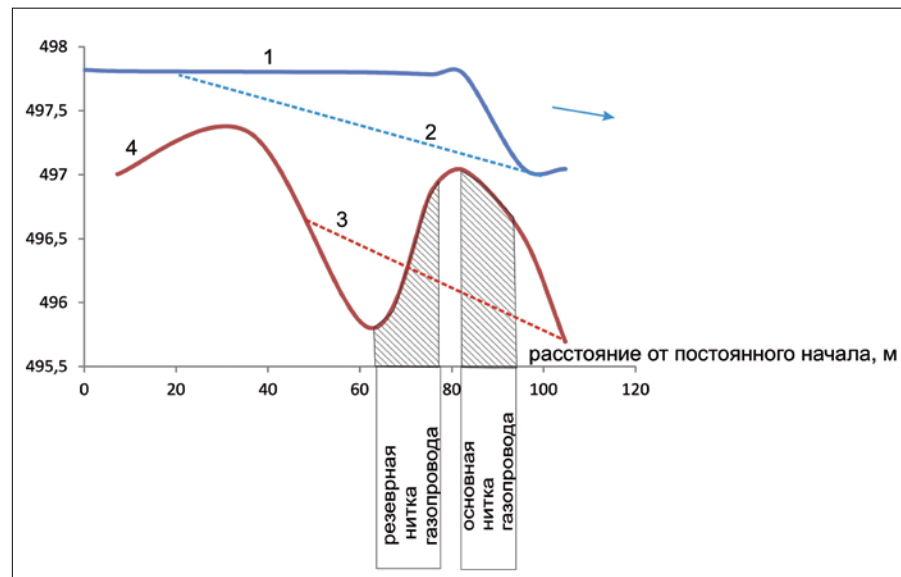
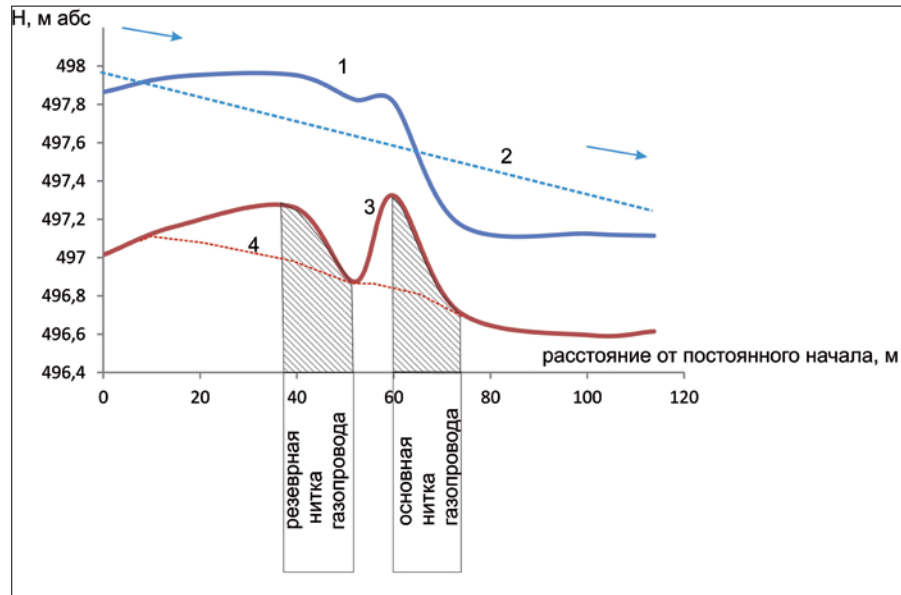


Рис. 3.48. Продольный профиль водной поверхности и линии наибольших глубин русла пойменных проток р. Авачи в створе перехода газопровода (вверху — крайняя правая, внизу — вторая от правого берега) Профиль водной поверхности: 1 — по состоянию на 29 июля 2012 г.; 2 — естественный (до 2011 г.). Профиль линии наибольших глубин: 3 — по состоянию на 29 июля 2012 г.; 4 — естественный (до 2011 г.)

В период прохождения половодья 2013 г. здесь наблюдалось формирование мощного стока, забиравшего до 20% от общего расхода воды р. Авачи. Создание траншейного перехода газопровода привело к существенному воздействию на сообщества лососёвых рыб, связанного с морфологическими изменениями русла реки и загрязнением нижележащих рек твёрдым материалом при производстве работ. В результате ударно-механического воздействия гидромолотами наносился дополнительный ущерб водным биоресурсам, не предусмотренный ОВОС. Из-за подпорного действия переходов через правые пойменные протоки произошло подтопление пойменных биотопов. В самих пойменных рукавах возникли гидрологические ловушки выше перехода и в пределах межниточного пространства. Летом 2013 г. в таких временных водоёмах, не имеющих поверхностной гидравлической связи с ненарушенными участками русла, были обнаружены массовые (несколько сотен экземпляров) скопления разновозрастной молоди лососёвых рыб — преимущественно кеты, гольца, нерки и кижуча.

С точки зрения технической безопасности главным вопросом эффективности переустройства является обоснованность проведения столь масштабной работы. Никаких катастрофических и аварийных событий за период функционирования наземного перехода на переходе отмечено не было. Однако, несомненно, масштабные русловые деформации потенциально опасны для МГ. В то же время отсутствие контроля за выполнением траншейной укладки трубы не позволяет оценить безопасность современного перехода по гидрологическим критериям. Тем не менее, если глубина заложения трубы составляет более 3 м относительно уровней межени 95-й обеспеченности по всей ширине пояса руслоформирования (поймы), что было обосновано инженерными изысканиями, то даже при прогнозных масштабных переформированиях русловой сети в створе перехода аварийная ситуация маловероятна.

3.2.3. Защита посёлков от опасного воздействия русловых процессов

В последние годы сразу на нескольких участках рек Камчатки остро встал вопрос о необходимости защиты населённых пунктов и разных хозяйственных объектов от размывов, произошедших при переформировании русел. Самые негативные последствия оказались связанными с многорукавными реками полуострова. Будучи приуроченными к самым продуктивным местообитаниям рек Камчатки, проведение руслорегулирующих работ и защита от опасных русловых процессов были сопряжены со значительными ущербами сообществам лососёвых рыб.

Пример 1. Защита пгт Палана от неблагоприятного воздействия русловых процессов Общие сведения

Река Палана в районе пгт Палана имеет полугорное разветвлённое русло, сложенное галечно-валунными отложениями. Река протекает в свободных условиях развития русловых деформаций, образуя в нижнем течении пойму шириной в несколько километров.

Непосредственно возле пгт Палана река на протяжении 7 км представляет собой участок пойменно-русловой многорукавности с двумя основными магистральными рукавами пойменного уровня (левый и правый), соединёнными между собой небольшими внутрипойменными протоками (рис. 3.49). Длина правого рукава — 7330 м, длина левого — 6880 м. В верхнем и среднем течении оба рукава осложнены широко развитой второстепенной разветвлённостью руслового уровня. В нижнем течении магистральные рукава активно меандрируют, что свидетельствует о снижении уклонов русла по их длине и формировании выработанного профиля. В этих условиях

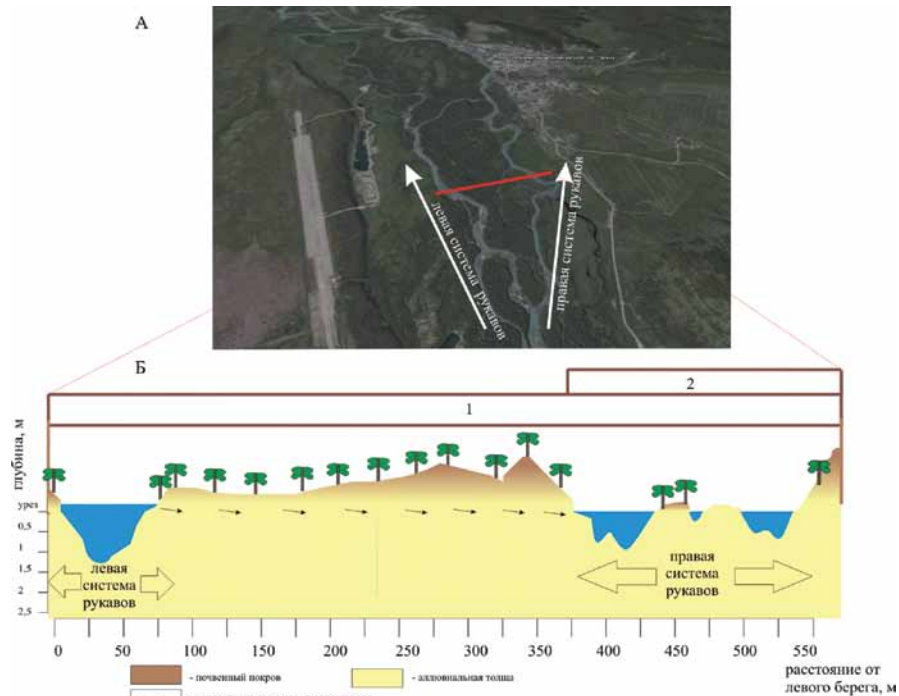


Рис. 3.49. Структура разветвления р. Паланы в районе пгт Палана:

А — общий план (снимок из космоса); Б — характерный поперечный профиль:

1 — пойменная разветвлённость (магистральные рукава); 2 — русловая разветвлённость

уровень дна более короткого и меньшего по водности левого рукава на определённой стадии развития русла оказался выше, чем уровень дна правого рукава. Это способствовало развитию поперечных протоков, направленных от левого к правому рукаву. В пределах островного массива разветвления сформировался поперечный градиент русловых и подрусовых (безнапорных, верхнего аллювиального горизонта) вод, направленный в сторону правого рукава. Это явление закрепилось формированием предпочтительных путей фильтрации, характерных для разветвлённых рек районов распространения вечной и сезонной мерзлоты. В условиях различия уровней дна между рукавами фильтрационные ходы подрусовых вод формируются по пути наименьшего гидравлического сопротивления между горизонтами вод. Поперечные градиенты напора между смежными рукавами могут в несколько раз превышать продольный уклон реки, что увеличивает скорость фильтрации. Фильтрующиеся воды выклиниваются в старичных понижениях на острове вблизи правого магистрального рукава р. Паланы и определяют формирование поперечных протоков разного размера.

Измеренный расход воды (Q , м³/с) в р. Палане с учётом всех рукавов и протоков в поперечном сечении русла выше пгт Палана составил в начале сентября 2009 г. 36 м³/с; ниже посёлка, вблизи слияния рукавов — 34,5 м³/с (створы Q-1 и Q-3 соответственно, табл. 3.9). Полученные отличия связаны с локальной фильтрацией русловых вод в подрусовую сток, а также точностью измерения расходов воды.

Таблица 3.9. Измеренные расходы воды в рукавах разветвлённого русла р. Паланы возле пгт Палана

Описание створы	Номер створа	Q , м ³ /с	B , м	h_{cp} , м	v_{mx} , м/с
Протока левого рукава	Q 1-1	0,30	6	0,22	0,3
Левый рукав	Q 1-2	13,16	15	0,84	1,62
Правый рукав № 1	Q 1-3	11,30	18,5	0,9	1,18
Правый рукав № 2	Q 1-4	11,50	22,7	0,53	1,57
Отток из правого рукава № 1 в левый	Q 1-5	0,27	6	0,2	0,3
Поперечные островные протоки выше впадения в правый магистральный рукав	Q 2-1	3,74	18	0,37	0,74
	Q 2-2	0,24	12	0,2	0,1
	Q 2-3	6,09	18,7	0,49	1,21
	Q 2-4	0,29	16	0,15	0,15
Нижнее течение левого рукава	Q 3-1	6,85	17	0,48	1,2
		1,56	15	0,22	0,7
Нижнее течение правого рукава	Q 3-2	24,70	27	0,93	1,5
		1,25	7	0,24	0,9

Q — расход воды, B — ширина русла, h_{cp} — средняя глубина, v_{mx} — максимальная скорость течения

	— протоки левой системы рукавов
	— протоки правой системы рукавов
	— поперечные протоки

С учётом того, что среднегодовой расход р. Паланы (пгт. Палана) составляет 59 м³/с, проведённые измерения следует относить к межнным значениям.

Суммарный поверхностный приток через остров в правый магистральный рукав из левого равен 10,3 м³/с, что соответствует 29% от суммарного расхода воды в реке. При этом многие из поперечных протоков в верхнем течении не имеют постоянной гидравлической связи с системой левого рукава и окружающих протоков, что свидетельствует о высокой роли подземного перетока из левого рукава.

В верхнем узле деления основного русла на рукава (Q-1) в правую систему рукава и проток уходит около 63% поверхностного стока. За счёт описанных выше процессов в нижней части разветвления по правому магистральному рукаву течёт уже 74% поверхностного стока. Увеличение относительной водности правого рукава более чем на 10% соответствует увеличению среднегодовых расходов воды в системе правого рукава и окружающих пойменных протоков на 6–7 м³/с по длине разветвления.

На участке разветвления р. Паланы вблизи посёлка в уловах встречается молодь и взрослые особи 11 видов рыб, 9 из которых принадлежит к семейству лососёвых (табл. 3.10); 5 видов лососей являются промысловыми, 3 вида добываются в качестве прилова. Непосредственно в правом магистральном рукаве находятся нерестилища горбуши, кеты, кижуча и, единично, чавычи. В пойменных протоках, прорезающих островной массив, также воспроизводятся поздняя (осенняя) кета, реофильная нерка и мальма. Через участок разветвлений проходят пути анадромной миграции сими, кунджи и лимнофильной паланской нерки. В Паланском озере воспроизводится второе по численности после озера Курильского стадо нерки — в настоящее время ежегодные уловы составляют около 300 т (3 \$/кг, т. е. около 30 млн руб. ежегодно по ценам 2009 г.). Таким образом, нижнее течение р. Паланы относится к водотокам высшей рыбохозяйственной категории.

Таблица 3.10. Фауна рыб в районе разветвлений р. Паланы вблизи пгт Палана

Семейство	Род	Вид	Численность
Лососёвые <i>Salmonidae</i> (Cuvier, 1816)	Тихоокеанские лососи <i>Oncorhynchus</i>	Кижуч <i>O. kisutch</i>	Многочисленный
		Чавыча <i>O. tshawytscha</i>	Второстепенный
		Нерка <i>O. nerka</i>	Многочисленный
		Сима <i>O. masou</i>	Редкий
		Кета <i>O. keta</i>	Многочисленный
	Гольцы <i>Salvelinus</i>	Горбуша <i>O. gorbuscha</i>	Многочисленный
		Мальма (северная мальма) <i>S. malma</i>	Многочисленный
	Тихоокеанские форели <i>Parasalmo</i>	Кунджа <i>S. leucomaenis</i>	Редкий
Микижа <i>P. mykiss</i>		Редкий	
Колюшковые <i>Gasterosteidae</i> (Bonaparte, 1831)	Трёхиглые колюшки <i>Gasterosteus</i>	Колюшка трёхиглая <i>G. aculeatus</i>	Второстепенный
	Многоиглые колюшки <i>Pungitius</i>	Колюшка девятииглая <i>P. pungitius</i>	Второстепенный

По результатам пеших обследований русел магистрального правого рукава и пойменных островных протоков на участке от истока до устья предполагаемого руслоотводящего спрямления, выполненных в начале сентября 2009 г., определены примерные площади нерестилищ промысловых видов лососей. Имеющиеся нерестилища ранней кеты расположены на ямах под пятью главными перекатами и занимают площадь около 0,5 га, нерестилища чавычи встречаются единично на вершинах перекатов и занимают площадь до 0,2 га. Площадь нерестилищ горбуши достигает 1,5–2 га. Из аэровизуальных наблюдений ФГУП «КамчатНИРО» известно, что численность горбуши на нерестилищах у посёлка в годы высоких подходов составляет десятки тысяч экземпляров. В островных пойменных протоках на выходах грунтовых вод отмечен нерест поздней кеты и реофильной нерки (до 0,2 га). Плотность скопления молоди лососей на отмелях магистрального русла достигает 1–1,5 экз/м² дна, в некоторых пойменных протоках в сентябре 2009 года наблюдались скопления молоди и жилых гольцов плотностью 3–4 экз/м².

План защиты пгт Палана

В 2009 г. во ФГУП «КамчатНИРО» поступил запрос из Управления лесного хозяйства и природопользования Администрации Корякского АО на выполнение оценки ущерба водным биоресурсам от реализации проекта, подготовленного в Дальневосточном филиале Федерального государственного унитарного предприятия «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ДВНИИВХ 1017) по спрямлению русла р. Паланы. Основные проектные решения по расчистке и спрямлению русла р. Паланы [Расчистка..., 2007] (раздел проекта ДВНИИВХ 1017, том 1 «Общая пояснительная записка») содержали следующие сведения (рис. 3.50): «Разрыв правого берега русла реки Паланы в пределах территории посёлка со средней скоростью плановых деформаций 1 м в год. Это обстоятельство прежде всего связано с тем, что основной расход реки проходит по правой протоке реки Паланы. Замеры глубин и обследование проток, выполненные ДВНИИВХ в 2007 году, показывают, что в настоящее время русло правой протоки интенсивно развивается, в то время как левая протока заиливается, зарастает и постепенно отмирает с соответствующим уменьшением расхода. Для того чтобы снизить интенсивность эрозионных процессов у правого берега реки Паланы в проекте намечено устройство обводного разгрузочного канала, через который будет проходить основной расход реки (Чертежи ДВНИИВХ 1017-ГР, лист 1)» [Расчистка..., 2007].



Рис. 3.50. Проектная схема канала спрямления русла р. Паланы (на основе чертежа ДВНИИВХ 1017-ГР, лист 2 [Расчистка и спрямление..., 2007])

1 — положение спроектированного канала; 2 — положение спроектированной дамбы;
3 — размываемые берега; 4 — автодорожная сеть

Характеристики канала в проекте были даны следующие: «Разгрузочный канал начинается на восточной окраине посёлка, а заканчивается на западной окраине посёлка. Канал трапециевидного сечения длиной 1 388 м имеет ширину по дну 36 м (чертёж ДВНИИВХ 1017-ГР, лист 3, 5, 6, 7, 8). Средняя глубина канала составляет 1,5 м. Заложение откосов 1:2. Уклон канала по дну постоянный и составляет $i=0,0018$.

Вдоль правого и левого откосов канала для проведения работ в эксплуатационный период устраиваются дороги шириной 5 м. Входная часть канала длиной 230 м выполнена с расширением. Расширение предусмотрено только с левой стороны. Угол расширения составляет 7°. Расширение входной части выполнено для эффективного захвата воды из старого русла. Основная часть канала разбита на семь участков разной длины. Направление центральных осей этих участков в плане изменяются на угол от 5 до 8°. Выходная часть канала также выполнена с расширением для плавного сопряжения канала с руслом реки. Отвал грунта располагается только на правом берегу канала». Предполагалось организовать наблюдения за эффективностью его работы. В том случае, если основная часть расхода не будет поступать в канал, в дальнейшем предусматривалось устройство направляющих береговых шпор и придонной (затопленной) перемычки.

Русловые анализ и рекомендации

ФГУП «КамчатНИРО» обратилось на географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова (письмо № 09/20-1175) с просьбой провести экспертизу указанного проекта. Для её осуществления при поддержке Министерства природных ресурсов Камчатского края было выполнено полевое обследование русла р. Паланы. Собранный материал и анализ космических и аэрофотоснимков послужил основой для русловой экспертизы. Был сделан вывод, что рассматриваемый проект для пгт Палана имеет недостатки как в разделе инженерно-гидрометеорологических изысканий, так и непосредственно проектных заключений:

1. Отсутствуют исчерпывающие данные натурных изысканий. В соответствии с требованиями нормативных документов, регламентирующих порядок обоснования гидротехнических проектов [СНиП 11-02-96; СП 11-103-97], необходимо привести характеристику режима русловых деформаций, данные промеров и съёмки русла, измерений уклонов водной поверхности, скоростей течения и расходов воды.

2. В проекте нет либо сводится к минимуму информация о технико-экономическом обосновании выбранного варианта защиты, нет анализа альтернативных вариантов работ и обоснования экономически более эффективных инженерных решений, в том числе по вопросу минимизации воздействия на окружающую среду.

3. Решение по спрямлению правой протоки спорно, оно не соответствует существующим рекомендациям по регулированию многорукавных русел [Алтунин, 1962; Кондратьев и др., 1982; Проектирование..., 1964; Чалов Р.С., 2008]. Спрявление излучины, отличающейся низкой степенью развитости и не имеющей естественных предпосылок к спрямлению, приведёт к интенсификации русловых деформаций на участке спрямления и увеличению неустойчивости участка. За счёт спрямления русла и увеличения уклонов возрастёт интенсивность блуждания русла. Кроме того, существующая правобережная протока скорее всего продолжит существовать, никаких морфологических и гидравлических предпосылок к её отмиранию в проекте не приведено.

4. Функционирование проектируемого канала также оказывается под вопросом ввиду его возможного занесения наносами. Активизация размывов берегов в условиях прямого русла может способствовать его заилению.

5. Ущерб воспроизводству лососёвых рыб, который будет нанесён инженерными работами в р. Палане, велик. По сути, полностью будет уничтожена экосистема пойменного массива, через который пройдёт канал; исчезнут биотопы пойменных проток, являющиеся важным звеном в воспроизводстве запасов лососёвых рыб; биотопы основных рукавов также пострадают из-за неизбежного дополнительного

поступления наносов в поток и заиления русла.

6. В проекте не рассматривается вариант создания берегоукреплений правого размываемого берега р. Паланы, хотя этот вариант определён более экономичен и не требует больших земляных работ, в связи с чем он ещё и более экологичен.

При экспертизе проекта для оценки современных темпов русловой деформации и их направленности проведена реконструкция развития всех основных русел участка реки в районе пгт Палана. В качестве исходных данных использовались:

— разновременные аэрокосмические снимки спутника LandSat из базы данных Earth Science Data Interface;

— результаты обследования участка реки в сентябре 2009 г.

Фактическая схема обследования приведена на *рис. 3.51*.

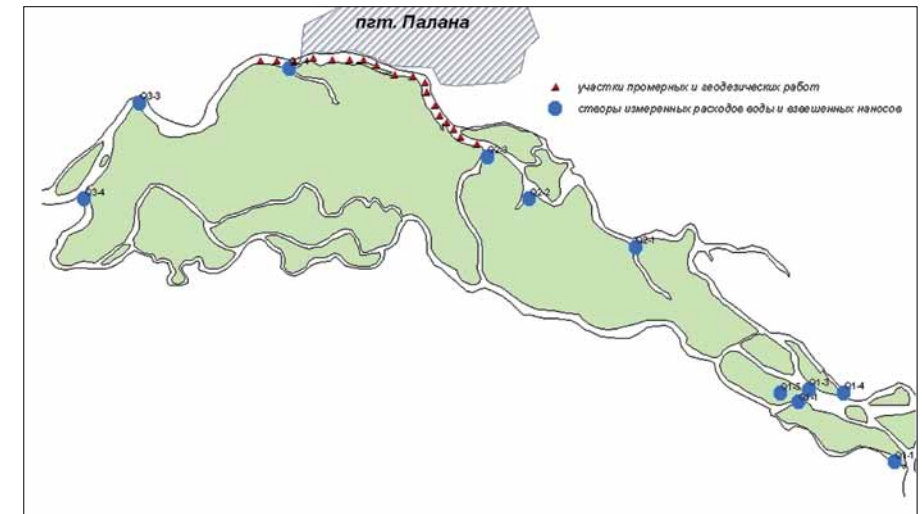


Рис. 3.51. Схема обследования р. Паланы в сентябре 2009 г.

Сопоставление снимков за 2000 и 2004 гг. позволило установить, что в годы, предшествующие началу интенсивного размыва берега, на котором расположен пгт Палана, никаких крупномасштабных изменений речной сети не наблюдалось (*рис. 3.52*). Существовало два основных магистральных рукава пойменного уровня (левый и правый) с окружающей сетью небольших внутрипойменных проток. Отсутствие переформирования берегов русел в этот период свидетельствовало о сохранении распределения расходов воды в системе водотоков разветвления.

При сохранении общего рисунка речной сети в последние годы выявлены две локальные причины активизации размыва правого берега р. Паланы возле пгт Палана. Во-первых, в результате образования крупного залама древесного топлива и переформирования берега непосредственно перед главным узлом разветвления (Q1) произошло перераспределение общего поверхностного стока в пользу крайнего правого водотока, который ранее действовал как небольшая внутрипойменная протока, начинающаяся в 100 м выше узла Q1. В настоящее время крупный новообразовавшийся рукав, который отличается слабой выраженностью русловых форм, прямолинейностью русла и высокой скоростью течения (*рис. 3.53 А*), функционирует как водоток



Рис. 3.52. Развитие участка р. Паланы в 2000–2004 гг.

руслового уровня разветвления в составе правого магистрального рукава. В результате перераспределения расходов воды произошло увеличение общей водности правого магистрального рукава (рис. 3.53 Г).

Ещё одной причиной развития и увеличения водности правого магистрального рукава выше и в районе пгт Палана в настоящее время является активизация поперечных островных внутрипойменных протоков, направленных от левого магистрального рукава к правому. В процессе русловых преобразований в поперечном сечении долины сформировался перекосяк в сторону более длинного и полноводного правого рукава. Превышение уровня дна системы русел левой ветви пойменного разветвления над правой сопровождается уменьшением водности левого рукава. Оценочное увеличение водности правого магистрального рукава составляло не менее 15–20%. В этих условиях здесь активизировались процессы береговой эрозии, в частности, приведшие к интенсивным размывам правого берега возле пгт Палана (рис. 3.54). Собранные сведения позволили сделать вывод, что застройка пгт Палана исторически находится в зоне потенциального риска подмыва. Об этом свидетельствовали и исторические укрепления берега, выполненные в посёлке. В частности, ранее было осуществлено укрепление бетонными блоками берега в районе котельной (рис. 3.54). Длина берегоукрепления (набережной) — около 145 м.

Как было выяснено при обследовании р. Паланы, существование береговых укреплений полностью ликвидировало возможность размыва котельной. Сведения о том, что берег непосредственно перед котельной может быть размыв, заявлявшиеся в проекте руслорегулирования [Расчистка..., 2007], не соответствуют действительности. Состояние берегоукреплений хорошее, стрележень проходит под левым берегом в стороне от них. Кроме того, от основного потока набережная оказалась отсоединена аллювиальной косой, сформировавшейся в тыловой части потока.

Угроза функционированию посёлка в настоящее время связана с размывом берега выше по течению от котельной и берегозащиты. Длина участка размываемого берега в пос. Палана составляет около 305 м. За период с 2004 по 2009 г. суммарная площадь отторжённого берега составила около 8440 м². Высота размываемого берега над меженным уровнем — менее 2 м. Ширина полосы размыва (рис. 3.55) на участке



Рис. 3.53. Водотоки правой ветви разветвления в верхнем узле пойменного разветвления: А — новообразовавшийся русловый рукав (активизировавшаяся пойменная протока); Б — стабильный старый русловый рукав; В — слияние двух русловых рукавов; Г — магистральный пойменный рукав после слияния русловых рукавов (фото Е.В. Есина)



Рис. 3.54. Берегоукрепления правого берега р. Паланы в районе котельной (фото Е.В. Есина)

в пределах пгт Палана с 2004 по 2009 г. достигла 8–11 м, при этом выше от пгт Палана величина размыва берега приблизилась к 20 м. Таким образом, средняя интенсивность отступления берега в пределах посёлка за период 2004–2009 гг. — 1,5–2 м/год.



Рис. 3.55. Размываемый берег р. Паланы у пгт Палана (фото Е.В. Есина)

Непосредственно в зоне потенциального размыва находятся следующие объекты:

1. 5 гаражей, некоторые из них находятся на расстоянии 1,5–2 м от размываемого берега.
2. Автомобильная дорога для подъезда к гаражам — до неё в некоторых местах 2 м (покрытия и отсыпки на дороге нет — это просто участок колеи без почвы).
3. Столбы электролинии — в зоне размыва 5 столбов, но фактически размыв угрожает 3-м столбам — до них от обрыва 5–6 м.
4. Теплотрасса в кожухе из бетонных блоков — подходит к обрыву на расстояние до 7–8 м.

Таким образом, проведённое обследование подтвердило несоответствие проекта регулирования русла р. Паланы фактической ситуации. В существующем виде его реализация не приведёт к решению задачи защиты пос. Палана в долгосрочной перспективе. Проект «Расчистка и спрямление русла р. Паланы в границах пгт Палана» (ДВНИИВХ, 2007) был признан при проведении экспертизы необоснованным. Аварийная ситуация не имеет таких существенных масштабов, как заявлялось при его подготовке. Реально в зоне риска находится размываемая дорога, линия электропередач, теплотрасса. Защита этих объектов, выполненная на долгосрочную перспективу, требует значительно меньших затрат, чем в подготовленном проекте.

По результатам экспертизы было предложено рассмотреть альтернативные варианты защиты пгт Палана от размывов с учётом существующего опыта регулирования многорукавного русла. При выборе вариантов руслорегулирования р. Паланы следует обратить внимание на факт успешного берегового укрепления возле здания котельной. Стабилизация правого берега, связанная с наброской бетонных блоков, привела к отклонению стрежня потока к левому берегу (острову). В результате у берега образовался протяжённый мелководный участок, сформированный в теневой части потока. Уже при средних уровнях отмель обсыхает и образуется вытянутая аллювиальная коса. О стабильности правого берега в районе котельной свидетельствует и его устойчивое положение, определённое по совмещению аэрофотоснимков и плановой съёмки, выполненной в сентябре 2009 г.

Выполненная экспертиза послужила основой для отклонения проекта. Обоснованная низкая эффективность предложенных вариантов и, главное, отсутствие самой проблемы, когда заявленная опасность проявления русловых процессов была завышена, были приняты во внимание Администрацией Корякского АО при принятии решения о проведении работ. Не были осуществлены неоправданные

масштабные инженерные работы в русле реки, которые привели бы к значительному экологическому ущербу. Спустя 7 лет (2014 г.) после создания проекта (2007 г.) и 5 лет после его отклонения (2009 г.) можно однозначно утверждать, что никаких оснований для осуществления столь масштабных руслорегулирующих мероприятий не было.

Пример 2. Защита пос. Северные Коряки от неблагоприятного воздействия русловых процессов

Одним из наиболее неблагоприятных участков с точки зрения развития опасных русловых процессов в пределах Камчатского края является среднее и нижнее течение р. Авачи. К 2007–2010 гг. деформации русла Авачи привели к угрозе подмыва её правого берега и разрушения отдельных строений пос. Северные Коряки, СХПК «Кам-Агро» и водозабора г. Елизово. Уже произошёл подмыв улиц пос. Северные Коряки и обрушение ряда подсобных строений в реку. Возле сельскохозяйственного комплекса СХПК «Кам-Агро» аналогичное развитие правых рукавов привело к угрозе подтопления территории животноводческого предприятия и ретранслятора. Под угрозой безопасного функционирования находится и водозабор г. Елизово.

В 2013 г. был реализован проект «Выполнение инженерных изысканий и разработка проектных предложений по предотвращению неблагоприятного воздействия русловых процессов на р. Аваче в районе с. Северные Коряки». Выбор стратегии регулирования русла для защиты населённых пунктов состоял из трёх этапов: русловой анализ, прогноз развития русла и экономическая оценка вариантов регулирования русла.

Анализ развития русла р. Авачи

Развитие русла р. Авачи в пределах современной долины отличается интенсивным переформированием русловой сети. Наличие легкоразмываемых пород в условиях постоянного поступления и аккумуляции большого объёма твёрдого материала из горной части бассейна приводит к постоянным смещениям русла р. Авачи, что отчётливо читается в неровном рельефе поймы с множеством старичных понижений. К середине XX века в районе пос. Северные Коряки русло было извилистым с отдельными пойменными разветвлениями. Основной рукав, по которому проходило до 90% стока, располагался под правым берегом долины и в целом повторял контуры современного правого рукава. Достижение излучиной, расположенной в верхней части пос. Северные Коряки, критической формы и её спрямление определило развитие здесь системы пойменно-русловых разветвлений (рис. 3.56). В дальнейшем перераспределение стока между рукавами нового разветвления определило развитие опасных русловых процессов у пос. Северные Коряки.

Трансформация разветвлённо-извилистого русла в пойменно-русловое разветвление произошла в начале второй половины XX в. На топографических картах 1970 г. даже с учётом значительной генерализации русла, чётко выделяется система крупных разветвлений с относительно равноценными по размерам рукавами (рис. 3.56). По утверждению местных жителей пос. Северные Коряки, «ещё в 1980-х годах основная Авача напротив посёлка шла под левым берегом». Последнее нашло отражение в активном хозяйственном освоении (строительстве жилых и подсобных строений) на прибрежных пойменных территориях. По съёмке 1978 г. непосредственно возле посёлка существовало 2 равноценных рукава (1, 2 на рис. 3.56), разделённых крупным пойменным массивом, а также ряд мелких пойменных проток.

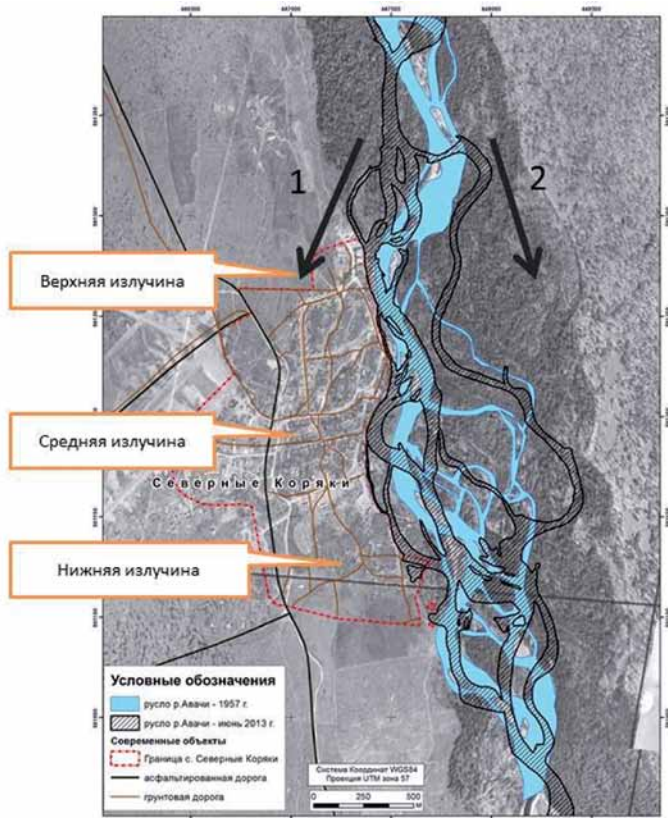


Рис. 3.56. Совмещённые планы русла, восстановленные по данным аэрофотосъёмки 1957 г. и топографо-геодезической съёмки местности 2013 г. (фон — аэрофотоснимок 1957 г.). Основные (магистральные) рукава современного русла р. Авачи: 1 — правый рукав; 2 — левый рукав

В конце 1990-х — начале 2000-х гг. происходило постепенное отмирание левого рукава. При подходе реки к пос. Северные Коряки главное русло сместилось в правобережную часть поймы (рис. 3.57). Бывший во 2-й половине XX в. в створе пос. Северные Коряки более полноводным левый рукав (2, рис. 3.56) к началу XXI в. оказался на 25% длиннее правого и примерно в 1,5 раза уступал ему по ширине, что способствовало его дальнейшей деградации. Сложившаяся ситуация на рассматриваемый период относительно стабилизировала русловую структуру в пределах всего рассматриваемого участка. В верхней его части на фоне снижения роли правобережных пойменных проток некоторые незначительные деформации происходили в главном русле и были приурочены преимущественно к вершинам и нижним крыльям сегментных излучин. Ниже по течению русло занимало устойчивое положение вдоль относительно прямолинейного высокого берега надпойменной террасы (на котором расположен пос. Северные Коряки), а затем формировало серию из трёх сегментных развитых излучин. Средняя из них, по сути, являлась вписанной, занимая в своей вершине

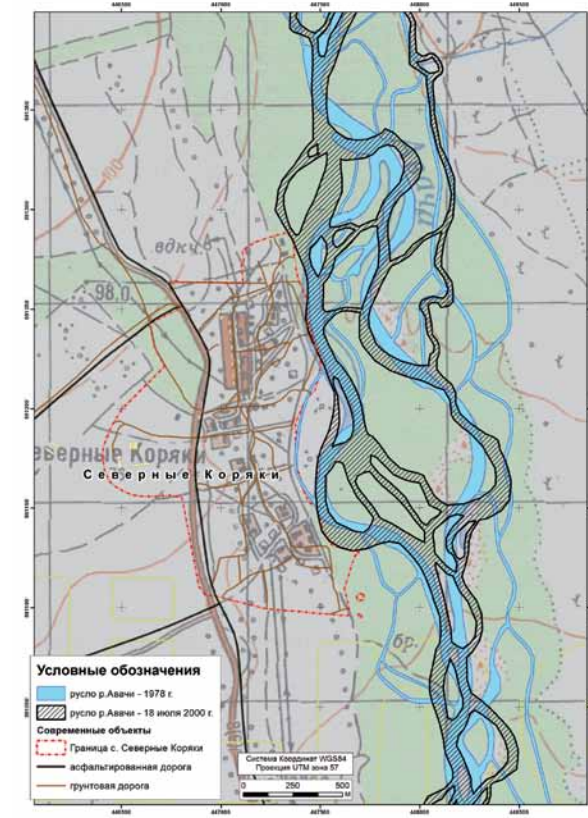


Рис. 3.57. Совмещённые планы русла, восстановленные по топокарте 1978 г. и космическому снимку 2000 г. (фон — топографическая карта М 1:100 000 1978 г.)

положение выработанный фестончатого размыва в надпойменной террасе. Развитие её в нижнем крыле сдерживала искусственная дамба (грунтовая насыпь, длиной около 100 м и высотой 3–4 м, армированная металлическим мусором), сооружённая ещё в 90-х годах XX в. для защиты группы жилых построек. Поэтому наблюдавшийся размыв преобладал в верхнем крыле излучины при подходе потока к высокому берегу. Ниже по течению русло формировалось в пределах низких пойменных берегов, образуя после слияния со второстепенным левым рукавом серию одиночных разветвлений.

Дальнейшее развитие русла на участке Авачи было определено стремительным перераспределением стока воды в пользу правого рукава, непосредственной причиной которого стало образование залома в узле деления потока выше пос. Северные Коряки. Формирование залома проходило на фоне многоводных лет 2005–2006 гг. и прохождения самых высоких за период с 2000 г. расходов воды, что способствовало интенсивным размывам залесённой поймы излучин верхнего течения р. Авачи и значительному увеличению поступающей в водный поток древесной и кустарниковой растительности. Начиная с 2005 г., интенсификация горизонтальных русловых

деформаций в пределах правого рукава (1, рис. 3.56) у пос. Северные Коряки проходила сверху вниз (рис. 3.58).

Увеличение водоносности правой протоки привело к нарушению её прямолинейности и дало импульс для развития серии сопряжённых излучин (далее — верхняя, средняя и нижняя) главного русла, степень развитости которых последовательно увеличивалась в процессе интенсивного размыва берегов в их вершинах. К 2009 г. в правом рукаве было сформировано две новых излучины (верхняя и средняя) (рис. 3.58), при этом существовавшая ранее в нижней части рукава излучина за счёт спрямления начала отмирать. С этого времени опасное воздействие вод р. Авачи на пос. Северные Коряки было связано непосредственно с размывом берегов в вершинах излучин в верхней части правого рукава.

С 2005 по 2009 г. основная опасность для береговой линии была связана с развитием средней излучины (рис. 3.58). В этот период она стремительно развивалась из пологой сегментной в крутую сегментную, при этом скорости смещения достигали 40 м/год (табл. 3.11) за счёт размыва пойменного массива общей площадью более 4000 м². В это же время стала формироваться верхняя излучина, темпы смещения которой в вершине достигали 10 м/год.

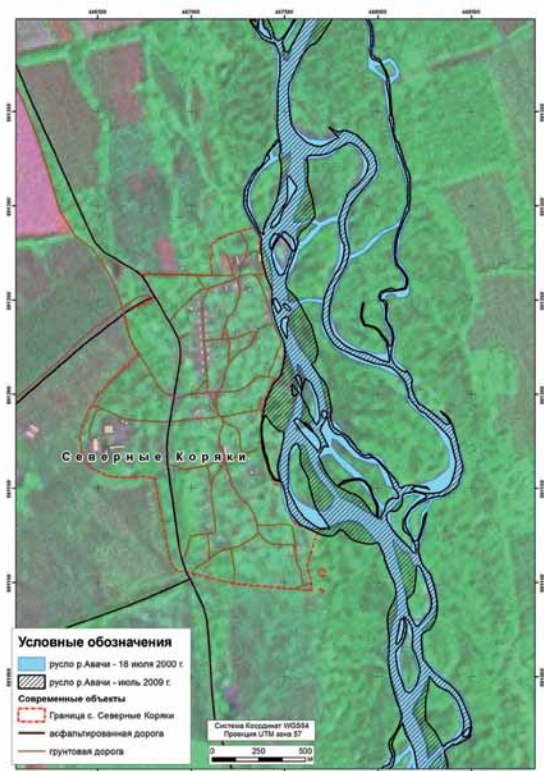


Рис. 3.58. Совмещённые планы русла, восстановленные по космическим снимкам 2000 и 2009 гг. (фон — космический снимок 2000 г.)

Таблица 3.11. Интенсивность отступления правого берега р. Авачи у пос. Северные Коряки

Излучина	Отступление правого берега							
	2005–2009		2009–2011		2011–2013		2005–2013	
	м	м/год	м	м/год	м	м/год	м	м/год
Верхняя излучина	36,5	9,1	3	1,5	10,5	5,25	50	6,25
Нижняя излучина	160	40	20,3	10,2	1,8	0,9	196,8	24,6

Возрастание темпов размыва берега обусловило решение защитить посёлок. В 2008 г. была предпринята попытка переброски стока в левый рукав (рис. 3.59). За счёт субвенций из федерального бюджета для снижения риска последствий наводнения и нарушения жизнедеятельности населения посёлков Центральные Коряки и Северные Коряки, загрязнения водных объектов были проведены изыскательские работы и подготовлена ПСД (проектно-сметная документация) «Спрямление и углубление русла р. Авачи в пос. Северные Коряки, пос. Центральные Коряки, Елизовский район Камчатского края». Работы выполнялись институтом «ДВНИИВХ» г. Владивостока. Стоимость разработки ПСД составляла 906,23 тыс. руб. Работы по данному проекту были начаты в декабре 2007 г. Общая стоимость работ — 7,2 млн руб. Работы были завершены в первом квартале 2008 г. Был расширен и углублён вход в левобережную протоку выше посёлка, борта отсыпаны изъятым русловым аллювием, русло канализовано (рис. 3.59).



Рис. 3.59. Русловыправительные работы — апрель 2008 г. (из архива отдела Архитектуры и градостроительства Администрации Елизовского муниципального района)

По завершении работ по искусственному формированию русла была разрушена перемычка, отделяющая формируемое основное русло, и сток р. Авачи был частично переброшен в новое русло старичной протоки (рис. 3.60).

Такие инженерные решения не учитывали морфологию русла в узле деления рукавов 1 и 2 (рис. 3.56). Угол входа потока в новое русло (рукав 2) был не достаточно острый.



Рис. 3.60. Начало весеннего половодья 2008 г. — часть стока р. Авачи направлено в старичную протоку (из архива отдела архитектуры и градостроительства Администрации Елизовского муниципального района)

Поэтому при половодье основная часть стока стала снова уходить в основное русло, на входе в протоку образовались древесные заломы, и протока снова стала отмирать. В результате в период с 2009 по 2011 г. происходило дальнейшее увеличение водоносности правого рукава (1), его дальнейшая эволюция, увеличение его извилистости (рис. 3.61). При этом средняя излучина к 2011 г. достигла крутой формы и в паводок начала спрямляться. Темпы отступления берега значительно упали и достигали в вершине средней излучины 10 м/год, в вершине верхней излучины — 1,5 м/год. В период с 2011 по 2013 г. завершилось развитие средней излучины её полным спрямлением. В результате в половодье 2013 г. правая пойменная протока, проходящая по старому руслу излучины на среднем участке, забирала не более 10% расходов воды р. Авачи и размыв берега пос. Северные Коряки на этом участке полностью прекратился. Основной сток направлялся по спрямляющей её протоке (до 70% стока), остальные 20% приходились на левобережную пойменную протоку и рассредоточение стока по пойме. Таким образом, средний период формирования крутой сегментной излучины и её спрямления составляет в правой протоке р. Авачи в районе пос. Северные Коряки около 6–7 лет.

Указанные переформирования русла привели к стабилизации значительной части правого берега, на котором расположен пос. Северные Коряки, однако в верхней части посёлка началось развитие новой излучины, которая в период половодья 2013 г. выросла более чем на 10 м (рис. 3.62). Основной формой развития разветвления является смещение излучин, образующихся в рукавах, и их периодические прорывы, определяющие перераспределение стока. При этом прохождение высоких паводков может стать значимым фактором в изменении режима русловых деформаций. Так, в июне 2013 г. в бассейне Авачи наблюдалось экстремально высокое половодье, максимальные расходы воды при котором были близки к вероятности превышения 3–5%. Непосредственно возле пос. Северные Коряки максимальный расход воды составил 7 июня 2013 г. 524 м³/с. При этом расходе уровень воды достигает неблагоприятной отметки, соответствующей уровню начала затопления участков низкой поймы (рис. 3.63).

В этих условиях активизировался размыв берега в пределах верхней излучины. Только за 3 недели июня 2013 г. отступление берега в вершине верхней излучины составило более 8 м (рис. 3.64). Этому способствовали образование залома в вершине

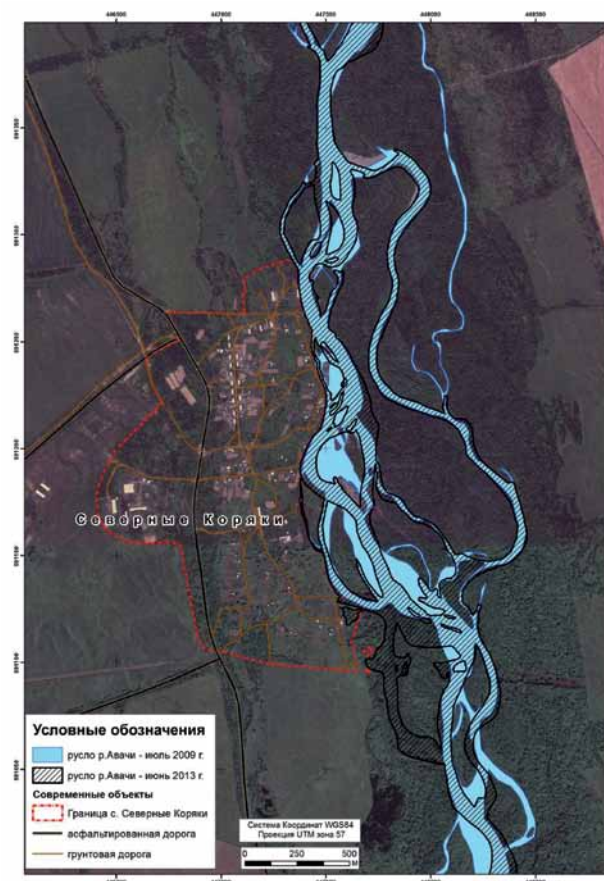


Рис. 3.61. Совмещённые планы русла, восстановленные по космическим снимкам 2009 и 2013 гг. (фон — космический снимок 2009 г.)

рукава и формирование нового угла подхода потока к берегу у пос. Северные Коряки. По сути дела, это означает новый этап в развитии излучин на этом участке. Большое влияние на интенсивность размыва берега оказало обрушение бетонного коровника (рис. 3.65), ставшего местным препятствием для потока. Одновременно окончательно произошло спрямление и отход основного потока от правого берега ниже по течению рукава. Активизация русловых деформаций на участке подтверждается анализом состава взвешенных наносов. Средний диаметр взвешенных наносов — с 0,028 мм выше пос. Северные Коряки до 0,035 мм в правой протоке и до 0,053 мм в основном русле за счёт поступления песчаных фракций.

Сопоставление данных наблюдений на р. Аваче с характеристиками взвешенных наносов на р. Корякской, выполненные 19.06.2013 г., показали значительное превышение мутности воды и крупности перемещаемых во взвешенном состоянии частиц на р. Аваче в период паводка по сравнению с Корякской. Зафиксированные значения

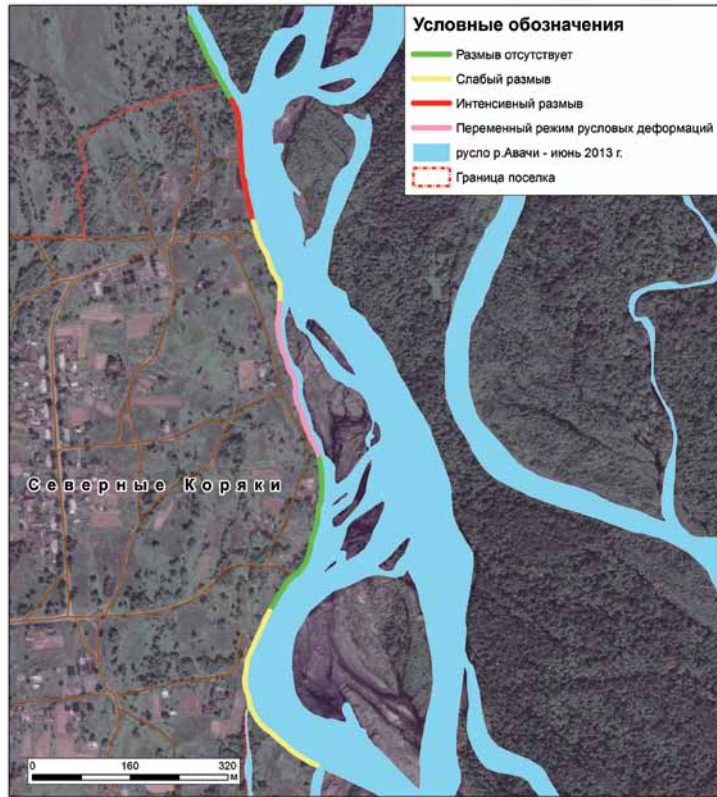


Рис. 3.62. Карта-схема берегов р. Авачи в пос. Северные Коряки по интенсивности размыва берегового уступа в 2013 г. (фон — аэрофотоснимок)

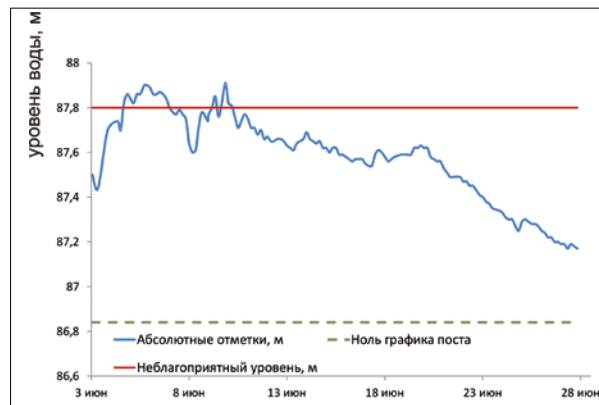


Рис. 3.63. График хода уровней р. Авачи возле пос. Северные Коряки



Рис. 3.64. Схема переформирования русла в северной части посёлка Северные Коряки в июне 2013 г.

мутности на р. Корякской ($2,52$ и $3,14$ г/м³ в верхнем и нижнем течении соответственно) продемонстрировали существенное продольное (вниз по течению) снижение крупности взвешенных частиц — в 8,6 раза (с $0,232$ до $0,027$ мм) при снижении песчаной фракции с 41 до 7,5%. Одновременно в целом более лёгкий состав перемещаемого материала и меньшая мутность воды на р. Корякской свидетельствует о значительно более высоких темпах русловой эрозии на р. Аваче. Данный факт указывает на преобладание этого процесса в пределах широкопойменного пойменно-разветвлённого русла, характерного для р. Авачи, и подтверждает вывод о потенциальной опасности развития русловых процессов в пределах этого типа русла. Межгодовая интенсивность переформирования русла определяется в первую очередь водностью половодья. При прохождении высоких расходов воды происходят интенсивные переформирования русла и размывы берегов в вершинах излучин рукавов. Этот же фактор увеличивает мощность карчехода, возникающего за счёт размыва пойменных берегов на вышерасположенных участках реки, который в свою очередь приводит к развитию заломов древесной растительности и становится самостоятельным непредсказуемым фактором развития русла. Многолетняя фаза водного режима, характерная для р. Авачи с середины 2000-х гг., в целом определяет потенциал дальнейших активных переформирований с высокими темпами размыва берегов в вершинах излучин (до 40 м/год в первые годы формирования излучины и около 5–10 м/год в последующие).



Рис. 3.65. Изменение береговой линии в северной части пос. Северные Коряки в июне 2013 г. (вид снизу по течению: А — 3 июня; Б — 10 июня; В — 2 июля; Г — вид сверху по течению 28 июня)
(фото П.Н. Терского и А. Сазонова)

Прогноз развития русла

В современных природно-техногенных условиях развитие русла р. Авачи в районе пос. Северные Коряки связано со следующими процессами:

- планомерное развитие излучин, в том числе расположенных в рукавах, с соответствующими продольными и поперечными смещениями и размывами береговой линии;
- быстрые изменения русловой сети в пределах зоны руслоформирования (низкая часть поймы), связанные с образованием новых рукавов в результате прорыва излучин и образования заломов в вершинах действующих протоков.

Период развития излучин, характерный для р. Авачи с 1957 по 2013 г., составляет 6–7 лет для средних темпов размыва берегов. На основе учёта инерционности будущих расходов воды (ожидание дальнейших высоких темпов смещения берегов в условиях многоводного периода) выполнен прогноз развития излучин р. Авачи на участке рядом с пос. Северные Коряки.

При отсутствии реализации каких-либо руслорегулирующих мероприятий в современных условиях следует ожидать дальнейшее развитие русла р. Авачи. Будет продолжаться развитие верхней излучины, в том числе в связи с начавшейся во время половодья 2013 года перестройкой русла на подходе к ней. При отсутствии экстремальных паводков средние темпы отступления берега составят до 5 м/год (рис. 3.66). Это может привести в

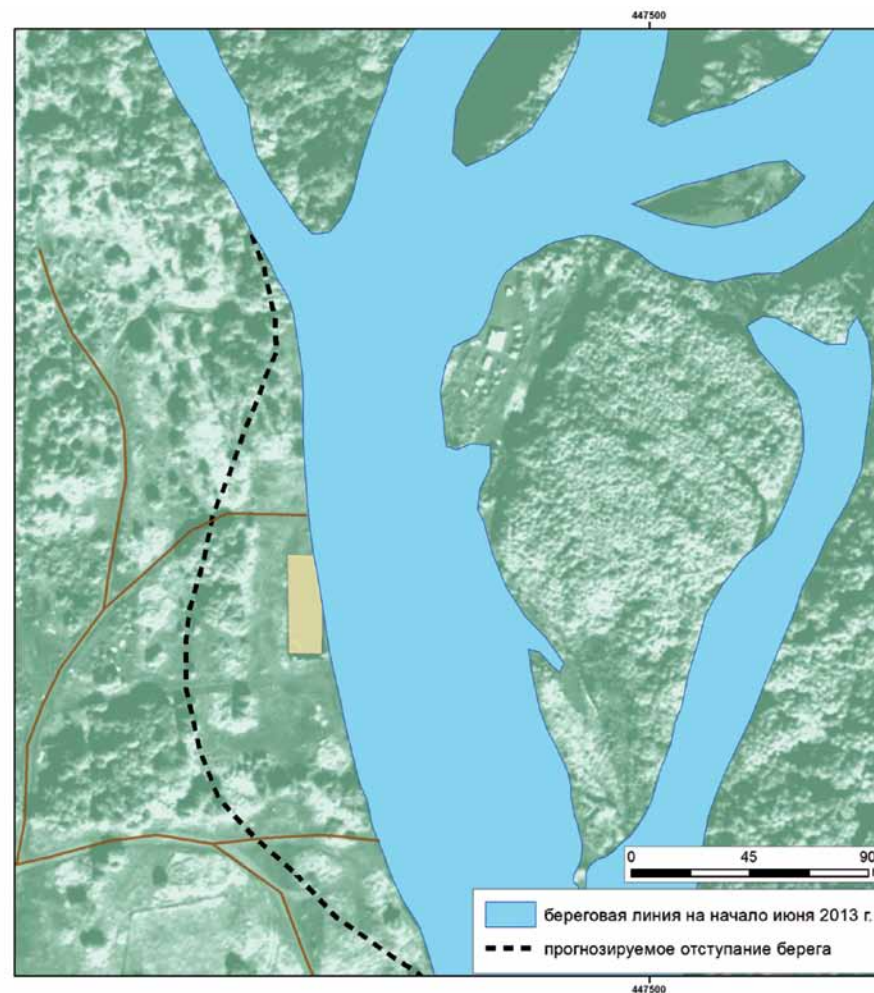


Рис. 3.66. Прогнозируемое развитие русла р. Авачи в северной части пос. Северные Коряки к 2020 г. в естественных условиях

ближайшие годы к размыву части территории посёлка в верхнем течении. Суммарная площадь размываемого участка средней поймы составит около 8000 м².

Ниже по течению основные переформирования русла прогнозируются с учётом размыва островного левого берега. Начавшееся в период половодья 2013 г. формирование излучины (вершина которой опирается на островной массив) будет продолжаться в ближайшие годы. В результате в нижней части разветвления вероятны перестройка русловой сети и перераспределение стока между рукавами за счёт размыва островного массива (рис. 3.67).

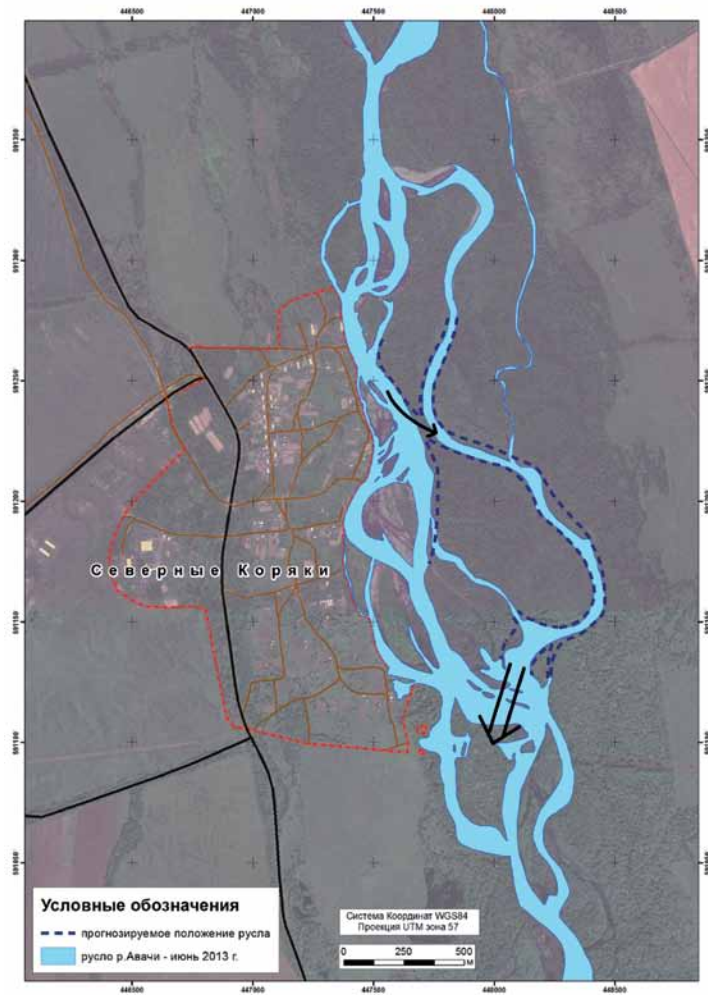


Рис. 3.67. Прогнозируемое развитие русла р. Авачи в верхней части пос. Северные Коряки (стрелкой показаны участки наиболее вероятной интенсификации размыва берега в районе перехода газопровода)

Разработанный прогноз предполагает дальнейшее развитие излучины в верхней части правого рукава, смещение фронта размыва острова и дальнейший прорыв островного массива. Для пос. Северные Коряки такой сценарий выглядит относительно благоприятным, поскольку его реализация предотвратит в среднесрочной перспективе возможность размыва берегов в нижней части посёлка. Одновременно этот процесс негативно скажется на стабильности участка р. Авачи ниже по течению, где расположен переход газопровода.

Рассмотрены варианты перераспределения стока в узле деления русла р. Авачи выше пос. Северные Коряки между рукавами 1 и 2 (рис. 3.56, с. 152). Циклическое

блуждание стока между правым и левым рукавами пойменно-руслового разветвления р. Авачи позволяет предположить вероятность естественного перераспределения стока в пользу левого рукава и в верхнем узле разветвления (выше пос. Северные Коряки). Однако крутой угол отхода левой протоки от основного русла и её закрытость заломами исключают вероятность естественной активизации левой протоки в верхней части участка.

Основной вывод связан с утверждением, что береговая линия пос. Северные Коряки будет относительно стабильна и не подвержена заметному размыву. Это легло в основу разработки рекомендаций по проведению инженерных мероприятий для защиты посёлка.

Научно обоснованные рекомендации по проведению инженерных мероприятий русла для защиты пос. Северные Коряки от опасных русловых процессов

Выполненный анализ русловых процессов на р. Аваче в пределах исследуемого участка показал, что естественный размыв береговой линии у пос. Северные Коряки будет продолжаться только в верхней части правобережной протоки. Предотвращение этого процесса может быть достигнуто за счёт:

- отвода части стока от посёлка в левобережную систему проток;
- прямой защитой размываемых берегов.

Рассмотрено несколько различных вариантов инженерных мероприятий: укрепление береговой линии, регулирование русла, искусственное перераспределение стока в пользу левого рукава за счёт трассирования прорези.

Вариант 1. Укрепление береговой линии по длине размываемого берега. В сложившихся к 2013 г. гидрологических условиях возведение берегоукрепительных сооружений потребуется по всей длине интенсивно размываемого берега (рис. 3.68), т. е. на протяжении около 0,5 км (от устья правобережной пойменной протоки) (рис. 3.69). При этом, учитывая легко размываемый характер слагающих русло материалов, закреплять размываемую часть береговой линии следует на всю высоту уступа (2–3 м). Максимальное заглубление берегозащитных конструкций должно превышать глубину плёсовых ложины (3–4 м при меженных уровнях воды). Если берегоукрепление будет осуществляться шпунтовым рядом, то потребуется заглубление не менее чем на 2 м ниже существующих минимальных отметок дна у подмываемого берегового уступа. Это связано с тем, что вертикальная берегоукрепительная стенка будет подвергаться интенсивному воздействию потока вследствие активизации размыва дна. При этом будет постоянно оставаться угроза разрушения гидротехнических защитных конструкций.

При берегоукреплении габионами, каменной наброской или другими способами необходимо будет спланировать размываемый берег, существенно уменьшив угол берегового откоса. В подводной части укреплений должна ложиться плащевидно, перекрывая основание уступа и выстилая прибрежную часть плёсовой ложины. В противном случае из-за подмыва основания защитный материал будет смещаться в стрежневую зону потока.

Стоимость берегозащитных сооружений существенно превышает стоимость других мероприятий, ориентируемых на выемку грунта (дноуглубление, спрямление излучины), рассмотренных ниже для участка русла протяжённостью не более 0,5 км. К тому же реализация этого варианта береговой защиты потребует проведения регулярных ремонтных работ. Ориентировочная стоимость работ по подготовке берегоукрепления на означенном участке (с расчисткой и углублением русла) на 2014 г. — не менее 1 млн руб. и сопоставима с суммарной стоимостью вероятного ущерба для территории. Суммарная стоимость работ составит не менее 6–7 млн руб. [Справочник..., 2000].

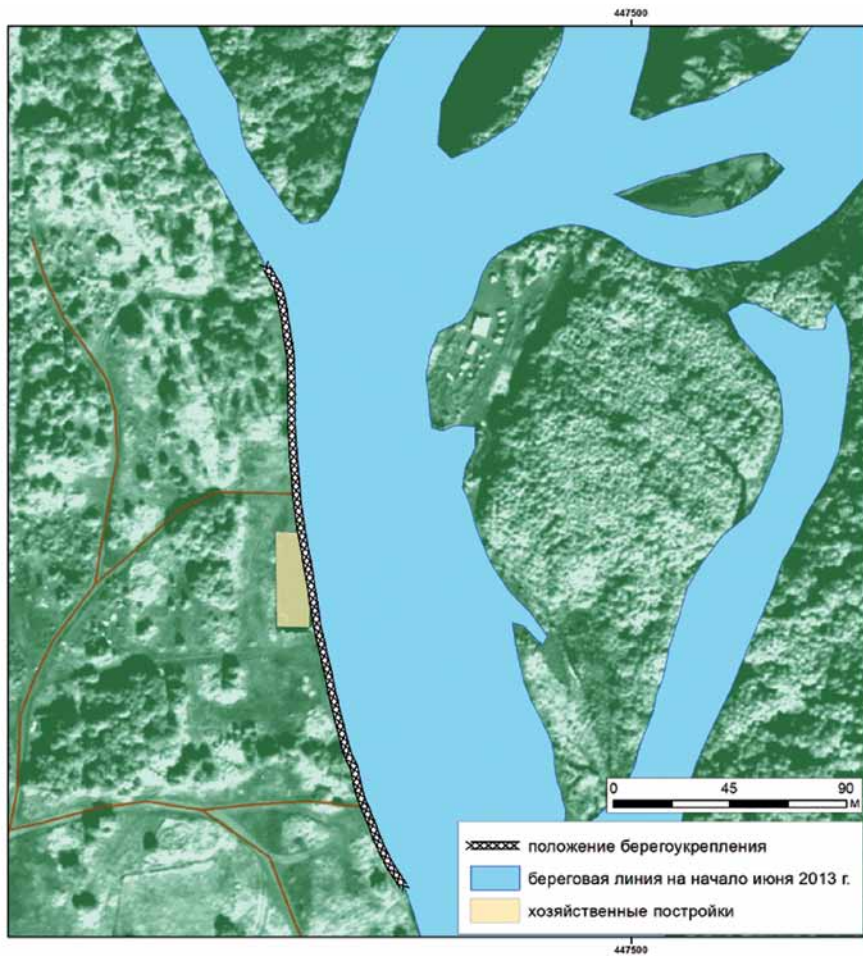


Рис. 3.68. Вариант положения укрепления береговой линии по длине размываемого берега на северном участке посёлка

Общая стоимость подготовительных работ по расчистке и углублению русла сопоставима с оценкой вероятного материального ущерба от прогнозируемого размыва берега в северной части участка, а суммарная стоимость капитального берегоукрепления будет в 10 раз выше.

Следует также иметь в виду, что укрепление берега р. Авачи только в пределах верхнего участка, при сохранении остальной части берега в свободном состоянии, со временем может привести к обходу потоком берегоукреплений. В частности, учитывая динамичный характер перестроения русла и возможное развитие любого направления в пределах пойменного массива, гарантированный срок службы такого берегоукрепления с учётом прогнозных оценок развития русла на участке составит около 10 лет.

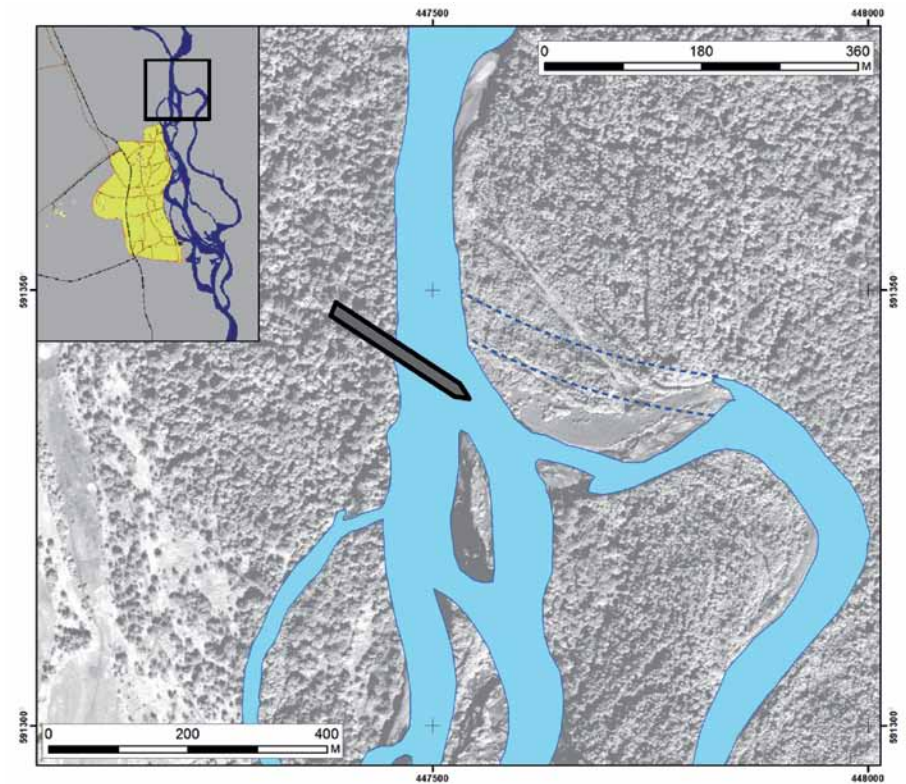


Рис. 3.69. Возможное положение руслорегулирующих сооружений

Вариант 2. Регулирование русла для перераспределения стока в левую протоку. Регулирование русла р. Авачи в районе пос. Северные Коряки может включать в себя следующие мероприятия: 1) строительство струнаправляющей дамбы в узле деления начала пойменно-руслового комплекса); 2) строительство местного спрямляющего канала (рис. 3.69). Суммарная стоимость работ составит около 12–15 млн руб. [Справочник..., 2000].

Струнаправляющая дамба, отклоняющая водный поток в сторону левой протоки, при всех вариантах её ориентировки будет находиться под постоянным воздействием потока. Она должна быть весеннего регулирования, т. е. её высота должна превышать высоту максимального подъёма уровня в половодье, а её голова должна быть выведена на глубины 4–5 м от межени уровня. Набегание потока будет постоянно приводить к её подмыву и разрушению.

Создание столь масштабных русловыправительных сооружений на практике почти не встречается. По сути, этот вариант близко повторяет попытку перевода стока в левый рукав, выполненный в 2008 г. по проекту ДВНИИВХ.

Вариант 3. Искусственное перераспределение стока в пользу левого рукава за счёт спрямления русла. Ненадёжность и высокая стоимость струнаправляющей дамбы определяют необходимость рассмотрения альтернативных вариантов перевода стока

в пользу левого рукава. Таким вариантом является разработка искусственного спрямления от вышерасположенного участка р. Авачи в сторону левого рукава (рис. 3.70). Канал должен иметь длину около 500 м и глубину от меженного уровня около 4 м.

Разработка спрямляющего канала через островной массив может быть осуществлена таким образом, чтобы радиус кривизны его сопряжения с руслом выше и ниже по течению соответствовал бы таковым в русле р. Авачи. Спрямляющий канал в период его строительства должен иметь ширину около 50 м по бровкам. При данных параметрах стоимость только грунтовых работ составит около 19 млн руб. Подготовка проектно-сметной документации и инженерных изысканий — более 1,5 млн руб. Суммарная стоимость этого варианта выйдет за пределы 20 млн руб. [Справочник..., 2000].

Дальнейшее развитие канала приведёт к его саморазмыву, что повлечёт постепенное увеличение в нём расходов воды. Со временем, на протяжении нескольких лет произойдёт окончательное перераспределение стока в пользу спрямляющего

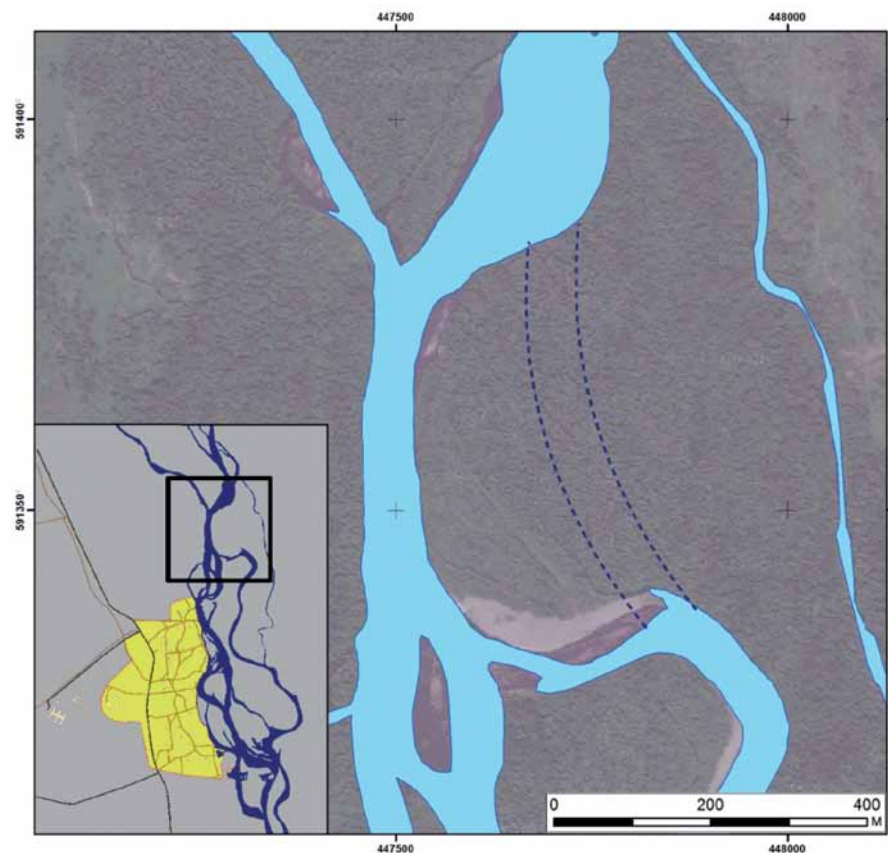


Рис. 3.70. Возможное положение канала спрямления для перевода стока в левый рукав (2, рис. 3.56)

канала, а заход в старое русло обмелеет. Соответственно произойдёт полное перераспределение стока в систему левых рукавов.

Извлекаемый из канала грунт может быть использован для перекрытия пойменных ложбин для предотвращения возможного оттока воды из канала вправо от него, особенно при высоких уровнях.

Вариант 4. Искусственное перераспределение стока в пользу левой протоки (6 км выше пос. Северные Коряки). Снижение активности размыва берегов в правом рукаве может быть выполнено также за счёт частичной переброски стока в левую пойменную протоку (рис. 3.71). По сравнению с вариантами 2 и 3 это инженерное решение более предпочтительно, поскольку требует проведения гораздо меньшего объёма земляных работ. В то же время перераспределение даже 20% стока будет способствовать почти полному прекращению размыва берега.

Спрямляющий канал в период его строительства должен иметь ширину около 20 м по бровкам. При длине около 200 м и глубине выемки грунта 3 м, стоимость земляных работ составит около 2,9 млн руб.

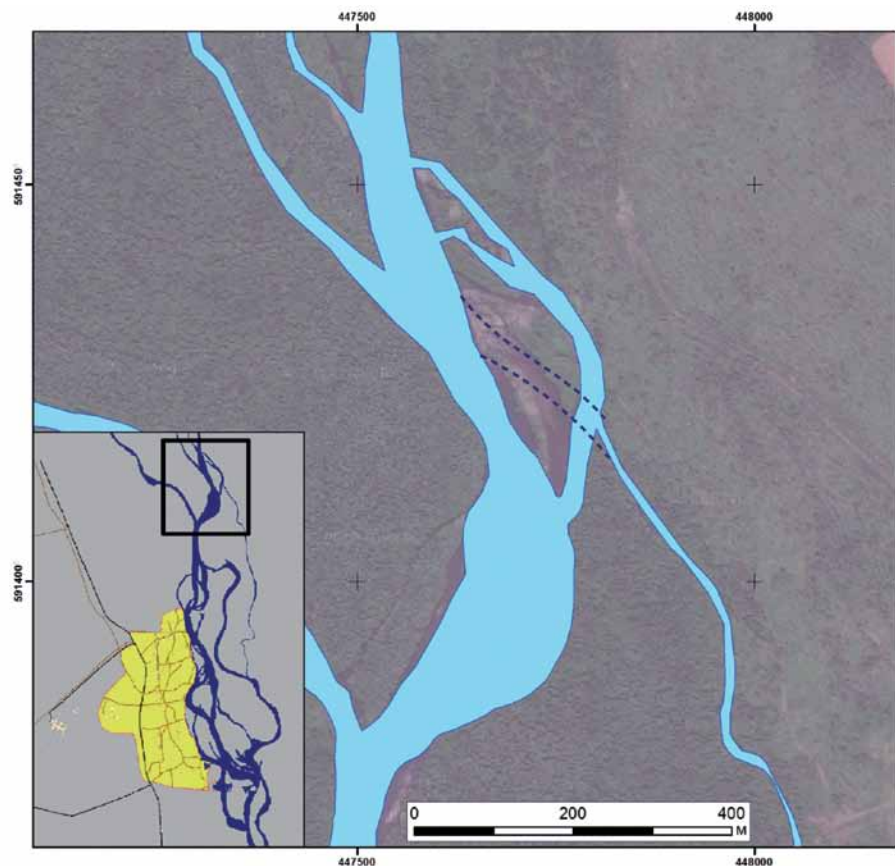


Рис. 3.71. Возможное положение канала спрямления для перевода части стока в левую протоку

Стоимость проектно-сметной документации и изысканий — около 1,3–1,5 млн руб. Дальнейшее развитие канала приведёт к его саморазмыву, что повлечёт постепенное увеличение в нём расходов воды. Одновременно будет происходить саморазмыв действующей протоки. Существенным недостатком этого варианта является высокая вероятность промыва пойменного массива ниже по течению и возвращение стока в систему основных рукавов. В результате срок действия этого канала относительно мал.

Сводная информация об основных характеристиках мероприятий и их стоимости приведена в табл. 3.12.

Таблица 3.12. Ориентировочная стоимость возможных работ по укрупнённым показателям мероприятий защиты населённых пунктов и объектов экономики

Варианты	Параметры сооружений	Ориентировочная минимальная стоимость, млн руб.
Вариант 1	Длина габионного укрепления берега около 400 м, площадь около 2400 м ²	15,1
Вариант 2	Канал длиной 300 м, шириной 40 м, глубиной 3 м, дамба полной высотой не менее 9 м	10,4
Вариант 3	Канал длиной 500 м, шириной 50 м, глубиной 4 м	20,9
Вариант 4	Канал длиной 250 м, шириной 20 м, глубиной 3 м	4,4

Оценка последствий реализации инженерных мероприятий по защите пос. Северные Коряки

Реализация каждого из рассмотренных вариантов берегоукрепления связана с определёнными негативными последствиями для прилегающих участков реки — как природных, так и антропогенных систем. Частью выбора стратегии по минимизации проявления опасных русловых процессов р. Авачи является оценка последствий для территории пос. Северные Коряки, ущерба биоресурсам, последствий для расположенного ниже по течению перехода Камчатского МГ.

Территория пос. Северные Коряки. Учитывая, что рассмотренные мероприятия направлены на снижение воздействия на пос. Северные Коряки только в пределах верхнего северного участка береговой линии посёлка (верхней излучины), следствием реализации инженерных мероприятий может быть развитие русловых деформаций на смежных участках береговой линии.

Перевод стока в левый рукав неизбежно вызовет активизацию развития излучин по его длине. При этом любой из рассмотренных вариантов (2 и 3) вызовет размыв острова в средней части в течение 1–2 лет и перевод стока в нижнем течении в систему правых рукавов (рис. 3.72). Это, в свою очередь, определит повторную активизацию средней излучины и приведёт к интенсификации размыва берега в нижней части посёлка.

Реализация варианта 1, наоборот, будет способствовать стабилизации положения русла. Поступающие к берегоукреплению, преимущественно за счёт гравитационных процессов, массы грунта будут способствовать стабилизации бровки и формированию угла естественного откоса, так как прекратится удаление

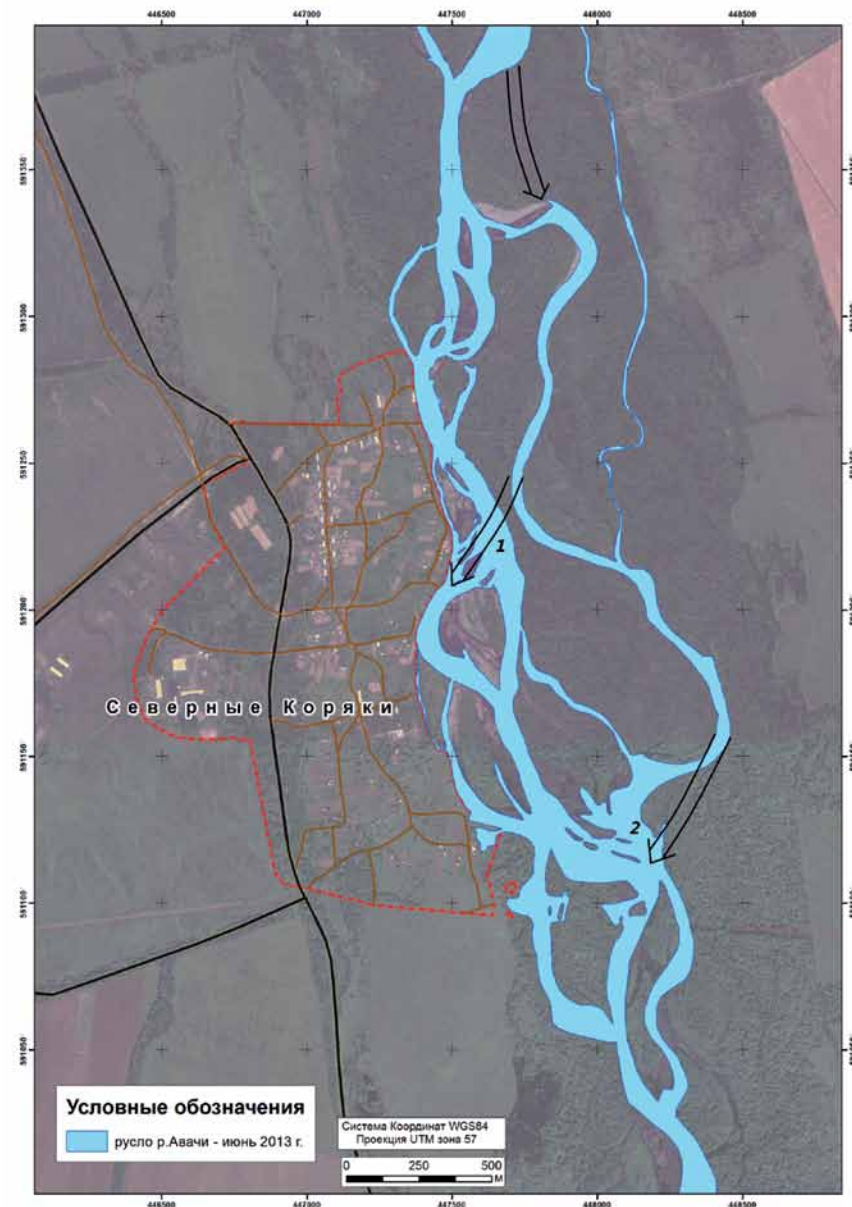


Рис. 3.72. Участки активизации опасных русловых деформаций в случае перераспределения стока в левую протоку.

1 — направление размыва при размыве острова (варианты 2 и 3); 2 — направление размыва и угроза переходу газопровода (варианты 2–4)

обвально-осыпного и оплывинно-оползневого материала с подножия откоса, что со временем приведёт к его выполаживанию и закреплению растительностью.

Реализация варианта 4 также в большей степени будет связана со стабилизацией русловой сети. Уменьшение расходов воды вызовет снижение размыва берега в верхнем и среднем течении береговой линии пос. Северные Коряки.

Ущерб биоресурсам. Среди рассмотренных вариантов 1 предполагает строительство берегоукрепления, которое оказывает минимальное воздействие на речную экосистему. Воздействие будет осуществляться только в период строительства в результате проведения механических работ в русле. В то же время в дальнейшем никаких существенных последствий для состояния сообществ водных организмов наблюдаться не будет.

Варианты 2 и 3 предполагают строительство искусственных каналов, в результате возведения которых полностью будут уничтожены пойменный массив и биотопы пойменных проток, являющиеся важным звеном в воспроизводстве запасов лососёвых рыб; биотопы основных рукавов также пострадают из-за неизбежного дополнительного поступления наносов в поток и заиления русла. Вариант 4 предполагает меньший объём земляных работ и в этой связи с экологической точки зрения является более благоприятным.

Состояние перехода магистрального газопровода. Проведение инженерных мероприятий скажется на безопасности перехода Камчатского магистрального газопровода через р. Авачу, расположенного ниже по течению. В целом состояние русла в условиях современного выполненного подземного варианта укладки газопровода является неблагоприятным. Неустойчивость русловой сети р. Авачи ведёт за собой её постоянную перестройку. Этот процесс непосредственно в створе перехода связан с активизацией правых пойменных проток. В условиях сохранения современной русловой ситуации на участке от пос. Северные Коряки до перехода МГ на месте одной из пойменных проток может сформироваться крупный русловой рукав, сопоставимый по ширине и глубине с современными основными рукавами р. Авачи. В то же время прогнозируемое естественное перераспределение стока в левый рукав при размыве острова в среднем течении рукава 1 приведёт к уменьшению активности этого процесса, однако вызовет активизацию переформирования непосредственно в створе перехода. В этой связи любое из рассмотренных инженерных решений является потенциальным фактором воздействия на трассу газопровода.

Оценка экономической эффективности инженерных решений и выбор оптимальной стратегии защиты пос. Северные Коряки

В конечном счёте основой обоснования схемы регулирования русел рек, особенно отличающихся сложной динамикой, должен быть комплексный учёт природных, социальных, экономических и экологических факторов. Для оценки экономической эффективности инженерных решений по реализации мероприятий по защите пос. Северные Коряки проведено сопоставление различных сценариев ущерба населённому пункту со стоимостью различных инженерных мероприятий и компенсационных затрат на восстановление сообществ водных организмов. Рассмотрены 2 основных варианта экономического ущерба территориям пос. Северные Коряки:

- прогнозируемый, основанный на фактическом прогнозе развития русла р. Авачи;
- гипотетический, основанный на вероятности полного разрушения посёлка в результате размыва берега.

Ориентировочная смета стоимости инженерных мероприятий составлена в соответствии с нормативной документацией [Справочник..., 1999; Справочник..., 2000; Справочник..., 2004; Письмо..., 2012]. Компенсация ущерба рыбному хозяйству рассчитывалась в соответствии с «Временной методикой...» [1989].

Стоимость вероятного материального ущерба при потере населённых и используемых в хозяйстве территорий (рис. 3.73), а также при утрате материального имущества рассчитаны в соответствии с методикой, утверждённой МЧС РФ и Минтрансом РФ [Методика..., 2007].

Реальная стоимость материального ущерба может заметно отличаться от расчётной по ряду причин. Во-первых, методика не может учитывать фактические потери, которые могут варьировать в зависимости от очень большого числа факторов (особенно для населённых территорий). Во-вторых, реальная стоимость земель может значительно измениться, особенно с учётом опасности их отторжения или нарушения в результате гидрологических процессов.

Сценарий 1. Прогнозируемый. Для оценки ущерба, наносимого землям в пределах отторженной (уничтоженной) территории, используется прогноз развития русловых деформаций. На размываемом берегу находится заброшенное здание, однако, по состоянию на 2013 г., оно частично разрушено и не используется, поэтому экономической потери от его разрушения не будет. Одновременно будет отсутствовать экономический ущерб по другим видам воздействия (выполнение аварийно-спасательных и других неотложных работ; единовременных выплат семьям погибших и пострадавших; расходов по приобретению необходимых медикаментов и оборудования и др.). В этой ситуации ущерб оценивается только за счёт экономических характеристик по утрате земельного фонда.

Площадь размываемого берега по прогнозу на 5–7 лет составляет 8 285 м². Стоимость земельных участков — ориентировочно 100 руб./м². Поэтому ущерб будет составлять 8285 × 100 = 828,5 тыс. руб.

Сценарий 2. Гипотетический. Для оценки ущерба, наносимого хозяйству при полном уничтожении посёлка, выделены разные категории земельных участков в соответствии со схемой функционального зонирования территории посёлка (по состоянию на 2013 г.) (рис. 3.73). В первую попадают лесные земли, во вторую — сельскохозяйственные, в третью — иные земли, в четвёртую — земли жилых и иных строений. Расчёт ущерба лесным территориям оценён как:

$$I_n = 0,15 \cdot P \cdot S \cdot M,$$

где I_n — ущерб от потери леса как сырья, P — стоимость 1 м³ корневого запаса, руб./м³ (для тайги принята стоимость 18,4 тыс. руб.), S — площадь этих лесов (14,9 га), M — средний корневой запас товарной древесины, м³/га (для тайги составляет 130 м³/га). Исходя из этих данных, ущерб при потере залесённой территории посёлка составляет 5,35 млн руб.

Расчёт ущерба сельскохозяйственным землям проведён по формуле:

$$I_{cx} = 0,5 \cdot S \cdot K \cdot 0,4,$$

где I_{cx} — ущерб сельскохозяйственному производству, S — площадь сельхозугодий (4,6 га), K — средний по субъекту федерации норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий (равный 124 тыс. руб.). Исходя из этих данных, сумма ущерба сельскому хозяйству составляет 115 тыс. руб.

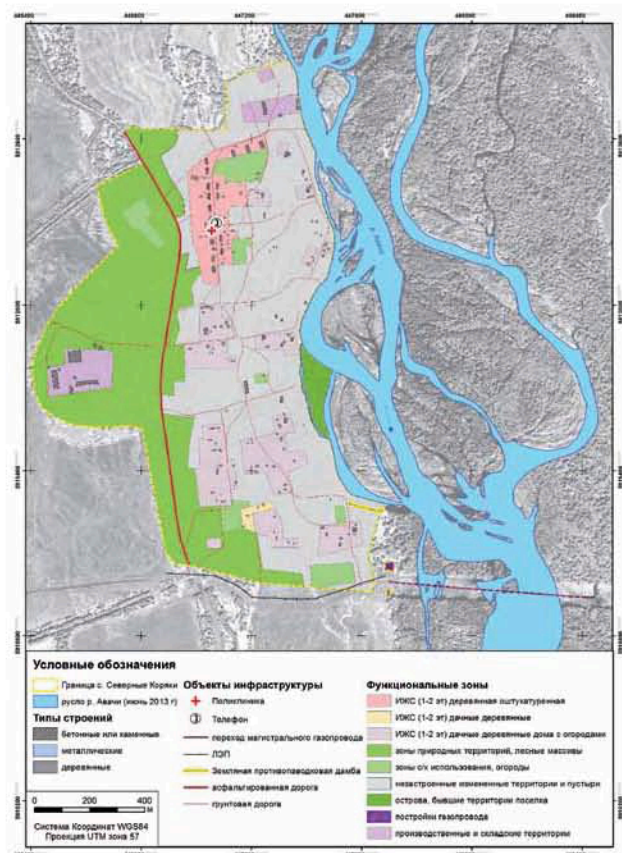


Рис. 3.73. Карта-схема функционального зонирования территории пос. Северные Коряки (по состоянию на июнь 2013 г.)

Ущерб от разрушений жилого фонда рассчитывается исходя из нормативных значений в 46,7 тыс. руб. на 1 жителя. Численность населения посёлка, по данным Администрации Корякского сельского поселения, составляет 168 человек (на июнь 2013 г.). Общий ущерб от разрушенного жилого фонда — 7,84 млн руб.

Помимо данного ущерба стоит учитывать потери от кадастровой стоимости земли при потере всей территории посёлка. Принимая её равной 100 руб. за м² при общей площади посёлка в административных границах 1,37 км², ущерб от уничтожения земель составляет 137 млн руб.

Таким образом, общая сумма ущерба населению, лесному и земельному фонду от полного уничтожения посёлка может составить 144,96 млн руб.

Оценка экономической эффективности защиты посёлка связана с сопоставлением затрат на проведение инженерных мероприятий с величиной ущерба S. К затратам на защиту посёлка были включены стоимость подготовки проектной документации и проведения инженерных работ P, а также компенсация ущерба рыбному хозяйству Δ:

$$\Delta = \frac{(P + Q)}{S}$$

На основе полученных значений Δ (табл. 3.13) определена экономическая эффективность различных вариантов защиты посёлка. Значительное превышение стоимости инженерных мероприятий над величиной ущерба позволяет сделать вывод, что в современных условиях проведение таких инженерных мероприятий является экономически неоправданным. Негативные последствия для объектов хозяйственной инфраструктуры и экологические риски также затрудняют реализацию большинства вариантов. Наиболее обоснованным является укрепление береговой линии по длине размываемого берега, однако стоимость этих мероприятий (около 8 млн руб.) также значительно превышает величину потенциального ущерба в случае размыва соответствующего участка пос. Северные Коряки (0,8 млн руб.) (Δ = 18,88).

Таблица 3.13. Сопоставление размера ущерба хозяйству P и стоимости компенсационных мероприятий биоресурсам со стоимостью инженерных мероприятий S, руб.

Вариант реализации инженерных мероприятий	Сценарий ущерба	
	Гипотетический	Прогнозируемый
1	18,88	0,11
2	17,45	0,10
3	30,17	0,17
4	7,52	0,04

Таким образом, рассмотренные выше варианты либо не решают проблемы кардинально, представляя собой временные мероприятия по снижению интенсивности размыва береговой линии в пределах застройки, либо являются весьма дорогостоящими и ненадёжными сооружениями, требующими при этом постоянного мониторинга состояния и периодического ремонта. Они не могут быть рекомендованы в качестве оптимальных мероприятий по предотвращению размыва берега в районе пос. Северные Коряки. Отсутствие в ближайшей перспективе реальных угроз для посёлка и прогноз размыва русла только в его верхней части позволило признать оптимальным решение невмешательства в развитие русла. В современных условиях искусственное регулирование русла р. Авачи является экономически и технически неоправданным. Возможные инженерные решения, выполненные на долгосрочную перспективу, характеризуются крайне высокой стоимостью. В частности, мощный слой легкоразмываемого материала, слагающего пойму, определяет необходимость заглубления береговых укреплений и струнаправляющих шпор до уровня ниже максимальной глубины плесовых ложин (6–8 м ниже межennale уровня). В то же время более дешёвые варианты переброски части стока за счёт строительства искусственных каналов сопряжены с интенсификацией русловых деформаций на смежных участках реки и негативными последствиями для других хозяйственных объектов, высоким экологическим ущербом. Кроме того, в условиях крайней неустойчивости русла любые инженерные решения имеют ограниченный срок действия. Например, укрепление берега р. Авачи только в пределах верхнего участка, при сохранении остальной части берега в свободном состоянии, со временем может привести к обходу потоком берегоукреплений.

Одновременно все инженерные решения в этих условиях вызовут активизацию опасных русловых деформаций на смежных участках реки и, в частности, могут иметь негативный эффект для устойчивости перехода Камчатского МГ. Проведённый русловой анализ выявил неблагоприятную обстановку развития русла в районе перехода газопровода. Отмечены тенденции к перестройке русловой сети непосредственно в створе газопровода, связанные с активизацией правых пойменных проток. Экстремальный характер русловых переформирований Авачи на участке полугорного широкопойменного пойменно-разветвлённого русла свидетельствует о том, что створ перехода газопровода через р. Авачу изначально выбран неудачно. Это подтверждает ранее сделанный вывод о естественной природной непригодности этого типа русла к хозяйственному освоению. Следует признать, что любая хозяйственная деятельность по берегам и в руслах крупнейших полугорных разветвлённых рек Камчатки (Авача, Большая (Быстрая) Малкинская), Палана и др.) сопряжена с негативными проявлениями опасных русловых процессов и должна реализовываться только в исключительных случаях.

3.2.4. Регулирование русел рек для обеспечения рыбного промысла

Организация речного промысла лососёвых рыб требует учёта природных процессов. В условиях конкурентной экономики на смежных участках реки могут вести свою деятельность компании, ориентированные на получение максимальных уловов. В результате направление максимального потока лососёвых рыб через «свой» лицензионный участок — основная задача рыбодобывающих предприятий. Наиболее эффективным вариантом её решения является проведение различного вида строительных работ в руслах рек, направленных на изменение структуры потока и, следовательно, естественных путей миграции лососёвых рыб. Это определяет проблематику регулирования русел рек для обеспечения рыбного промысла. Наиболее характерным в этой связи районом Камчатки стало нижнее течение р. Озёрной.

Нижнее течение р. Озёрной расположено возле пос. Озерновский (левый берег) и пос. Запорожье (правый берег) (рис. 3.74). Устьевая область р. Озёрной представляет собой небольшой эстуарий, в котором река расширяется от 90 до 250–300 м. Устье реки перекрыто аккумулятивной песчано-галечной косой длиной 600 м и шириной около 50 м, сформировавшейся в результате потока наносов из эстуария и волнового воздействия. Из-за большой высоты и укрепленности левого коренного берега — древней морской террасы — нарастание косы не происходит. Разгрузка речных вод происходит через узкое горло шириной 40 м (рис. 3.74), на морском краю которого формируется серия устьевых баров.

В устье реки действует 7 основных водопользователей в сфере рыбодобычи — ООО «Рыбхолкам», колхоз «Красный труженик», ООО «Западный» на правом берегу реки, ОАО «РКЗ-55», ООО «Витязь-Авто», ООО «Дельта» и ООО НИА «Алык» — на левом. Рыбоприёмные цеха расположены вокруг устья реки, в связи с чем рядом с горлом разработаны гавани для захода морских судов.

Проведение дноуглубительных работ привело к конфликту между разными рыбодобывающими компаниями, владеющими разными участками рыбного лова (тонями). В 2010 г. по результатам конкурса на распределение участков между компаниями первый от устья участок лова (тоня) достался ООО «РКЗ-55», вторая тоня — ООО «Витязь-Авто», третья — ООО «Красный труженик», четвёртая — ООО «Рыбхолкам». Несмотря на то что все рыбодобытчики региона являются членами организации «Ассоциация рыбной промышленности Озерновского региона»,

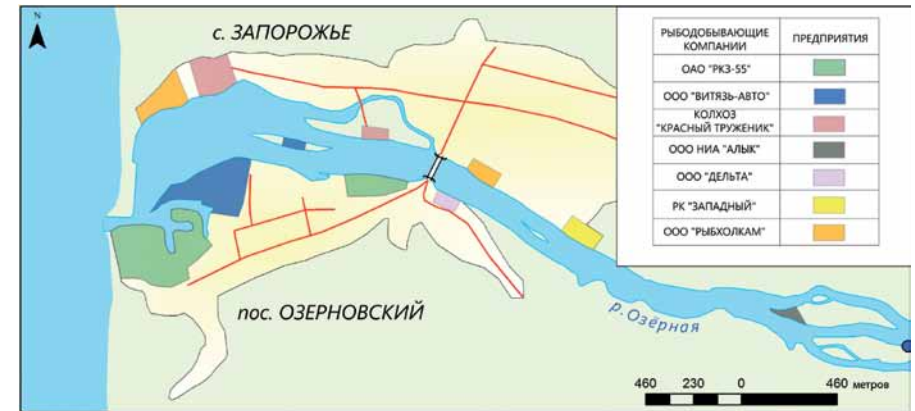


Рис. 3.74. Схематический план расположения участков промысла рыбодобывающих компаний

возникли существенные разногласия о порядке ведения рыбного лова, особенно в части регулирования русла. В результате основные рыбодобывающие компании (ООО «Красный труженик» и ООО «Витязь-Авто») подали большое количество жалоб друг на друга по поводу несанкционированного вмешательства в русловую рельеф. Компании «Витязь-Авто» вменялась искусственная подсыпка острова с целью перераспределения расходов воды, искусственное взмучивание тяжёлой техникой (машинами «Урал» и другой большегрузной техникой) правой протоки с целью перенаправления всего объёма поднимающейся на нерест рыбы в левую протоку, где располагается тоня компании. Встречными исками ООО «Красный труженик» обвинялся в несанкционированных земляных работах на отмели к северо-западу от острова, направленных на частичную расчистку русла правой протоки.

Использование берегов р. Озёрной для ведения лососёвого промысла привело к их сильному техногенному преобразованию. Часть берега непосредственно в предустьевой области представляет собой отсыпанные искусственные песком и галькой площадки (рис. 3.75). До постройки хозяйственных объектов, в частности заводских рыбоперерабатывающих сооружений, берега представляли собой заболоченное пространство, подтапливаемое при приливном подъёме уровня (отдельные участки территории подвергаются затоплениям до сих пор). Большая часть хозяйственных построек в пределах населённых пунктов укреплена, либо проведена подсыпка крупным материалом со стороны реки. Отдельные участки представляют собой отсыпку крупным материалом на месте большой отмели.

Река Озёрная характеризуется относительно устойчивым руслом. Годовой сток наносов формируется за счёт взвешенной (21 700 т/год) и влекомой (26 400 т/год) составляющих. Определённую роль играет транспорт крупнообломочного туфового материала (34,5 т/год). Выполненный ретроспективный анализ показал, что развитие руслового рельефа предопределяется техногенными факторами. Как вертикальные, так и плановые изменения русла связаны с проводившимися здесь инженерными мероприятиями — строительством мостовых переходов и дноуглубительными работами. Всего в нижнем течении р. Озёрной выделено 5 участков, в пределах которых в последнее время осуществлялась выемка донного грунта. Суммарный объём искусственных русловых карьеров оценивается в 1278 м³, в пересчёте на массу грунта — 1383 т.



Рис. 3.75. Классификация берегов в пределах пос. Озерновский и Запорожье

В формировании современного руслового режима значительную роль сыграло строительство мостового перехода. В результате отсыпки береговых ферм ширина реки сузилась со 150 м до 90, что кардинальным образом изменило скоростное поле потока и направлений струй. Опоры современного моста изменили рельеф русла. Вокруг них из-за размыва дна сформировались эрозионные ямы протяжённостью до 70 м, отметки глубин которой превышают глубины прилегающих участков реки более чем на 1 м. Сужение прибрежными опорами поперечного сечения реки приводит к направлению потока в центр русла, искривлению стрежня потока и общему углублению русла. Вдоль берегов образовались теневые зоны, что определило развитие здесь отмелей и одиночных односторонних разветвлений. Аналогичные последствия для режима вертикальных деформаций отмечены на участке старого мостового перехода (рис. 3.76, правая врезка). В результате сужения потока здесь образовалась аналогичная эрозионная яма с глубинами более 2 м. Рельеф дна, скорее всего, определяется оставшимися на дне основами устоев моста, полный демонтаж которых не был осуществлён.

Важную роль в изменении гидравлической структуры потока сыграли инженерные преобразования русла, выполненные в 1970-е гг., которые привели к перераспределению стока воды между рукавами разветвлений, что стало существенным фактором изменения путей миграции лососёвых рыб и, следовательно, условий рыбного промысла. В целом русловой режим реки характеризуется отсутствием естественных форм проявления опасных русловых процессов.

В этой ситуации плановые изменения положения русла после 1971 г. были определены исключительно техногенными факторами. Основную роль в них сыграла постройка моста через русло реки, а также подсыпка прибрежной территории (рис. 3.77). По состоянию на 1971 г., на эстуарном участке р. Озёрной не было постоянных островов, существовало только несколько отмелей. Судя по их конфигурации, основной протокой была левая (самая южная). По мере приближения к устью ширина реки уменьшалась, здесь располагались крупные прибрежные отмели. С 1971 по 2000 г.

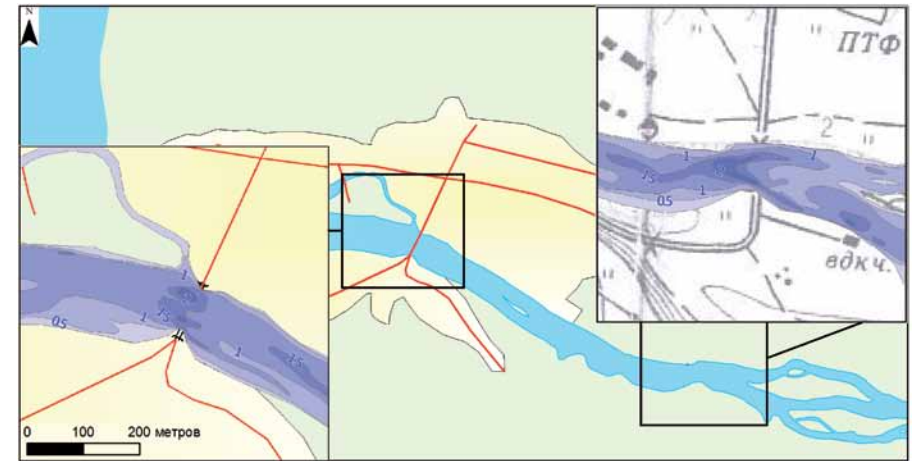


Рис. 3.76. Карта глубин в районе нынешнего (левая врезка) и старого (правая врезка) моста

произошло искусственное осушение и застройка пониженного участка прирусловой поймы на левом берегу (в пос. Озерновский).

Для удобной организации рыбного лова происходило также освоение правобережных участков, расположенных ниже моста. В результате отсыпки часть этих участков закрепились растительностью. Наконец, в период с 2001 по 2013 г. была отсыпана и укреплена часть левобережной отмели, прикрывающая заход в гавани (рис. 3.78). Повышение отметок левобережного берега усилило общее сужение русла и привело к углублению пониженных участков.

Наиболее интенсивное освоение береговой зоны происходило в нижнем течении р. Озёрной ниже мостового перехода, в первую очередь за счёт искусственного повышения отметок аллювиальных отмелей. Их закрепление растительностью определило существенное изменение гидравлического режима участка реки (рис. 3.79). С 2001 по 2013 г. длина острова увеличилась более чем вдвое — с 180 до 400 м, в результате чего гидравлическая связь между двумя основными протоками значительно ослабла. К 2013 г. в месте сочленения двух протоков образовалась крупная отмель, в результате чего основной стрежень потока, а, следовательно, и основной путь подъёма рыбы на нерест переместился в левую протоку (рис. 3.79). В настоящее время на отсыпанном участке данной отмели расположены хозяйственные постройки ООО «Витязь-Авто» (рис. 3.80).

Спонтанно проводившиеся дноуглубительные и берегозащитные мероприятия оказали определённое влияние на развитие русла р. Озёрной и условия миграции лососёвых рыб. В нижнем течении, несмотря на перемещение динамической оси потока в левую протоку, объём стока воды остаётся сопоставимым (57% от общего расхода воды в левой и 42% в правой) (рис. 3.81, 3.82). В то же время правая протока характеризуется значительно более замедленным скоростным режимом и меньшими глубинами, что, очевидно, связано с её постепенным отмиранием. В правом рукаве в самом широком месте (ниже острова) сформировался крупный перекат, разделяющий плёс в левой протоке и плёс вдоль косы — в данном месте из 330 м ширины реки лишь 8% имеют глубину более 0,5 м в период отлива.

Перераспределение стока и отмирание правого рукава явилось важнейшим экологическим фактором развития среды обитания лососей в сформировавшейся

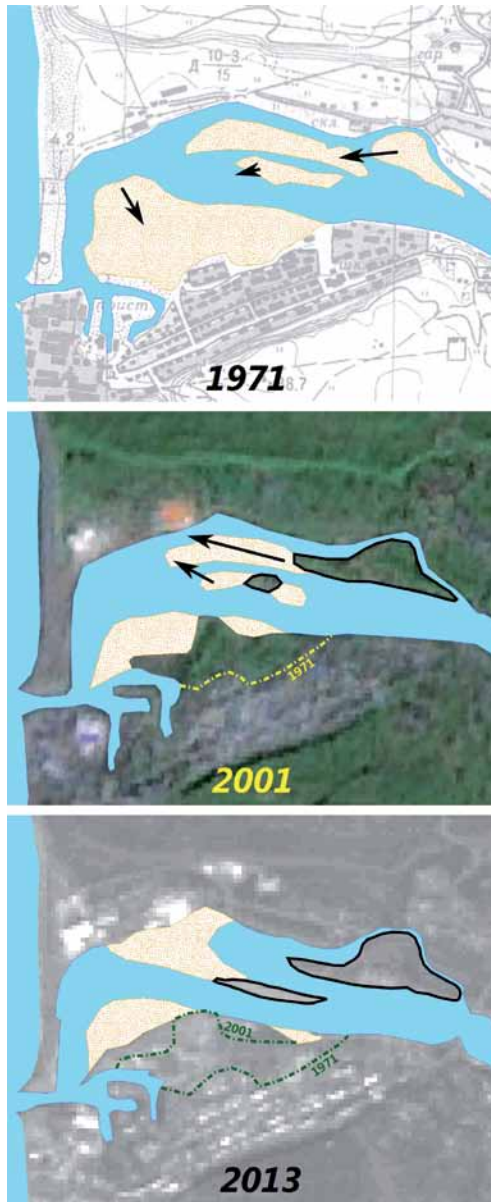


Рис. 3.77. Переформирования устьевой области р. Озёрной с 1971 по 2013 г.

Голубым показано русло реки, песчаным — отмели с глубинами меньше 0,25 м при минимальном отливе, чёрным — закрепившиеся острова, пунктиром — положение берегов в прошлом. Стрелками показан вектор развития/деградации отмелей.



Рис. 3.78. Искусственное изменение левого берега за период с 1971 по 2013 г.

природно-антропогенной системе. Её следствием стало осложнение захода рыбы в правую протоку, в результате чего основная миграция лососей в настоящее время происходит под левым берегом. Именно эти факторы вызвали конфликт между рыбодобывающими компаниями и потребовали решения вопроса о выработке комплексной стратегии управления русловыми процессами.

Основой такой стратегии, направленной на обеспечение устойчивого рыбного промысла на всём участке реки с учётом интересов всех расположенных здесь предприятий, должна быть выработка системы регулирования и регламентации всех руслорегулирующих действий. На предустьевом участке дноуглубительные работы, выполняемые, например, для обеспечения пропуска судов, и берегозащитные мероприятия не имеют значительного воздействия на состояние сообществ лососёвых. Осуществление инженерных мероприятий в русле р. Озёрной нарушает равновесное состояние в русловой системе и может приводить к изменению положения гидродинамической оси потока, а на участках разветвлённого русла — к перераспре-

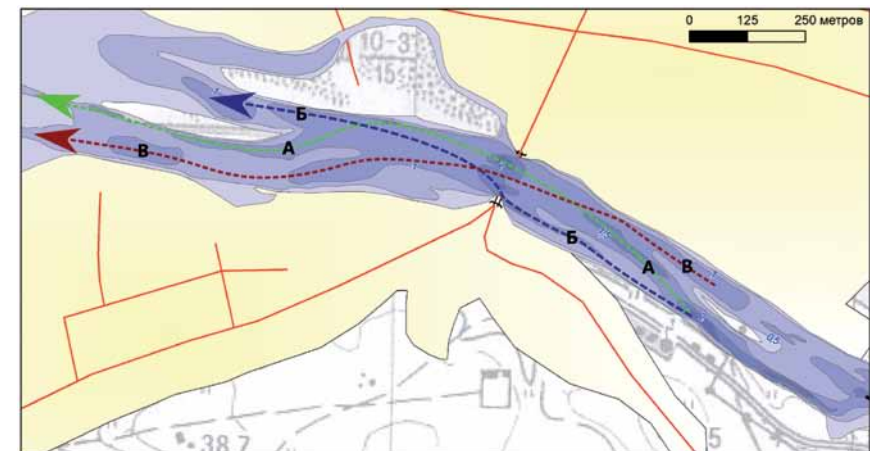


Рис. 3.79. Положение стрежня потока в различные периоды времени:

А — современное положение (2013 г.); Б — ориентировочное положение на начало 2000-х гг.;

В — ориентировочное положение до постройки моста в начале 1980-х гг.



Рис. 3.80. Динамика увеличения площади острова и застройка прибрежных территорий (по данным космических снимков 2001 и 2013 гг.)

Сплошной линией показана закреплённая растительностью часть острова, пунктирной — подсыпаемая отмель.

делению расходов воды между рукавами. Именно эти процессы определяют положение скоростных зон, которые играют определяющую роль в проходе на нерест рыбных стад. Такая ситуация приводит как к определённым экологическим последствиям, так и к конфликту между рыбодобывающими компаниями. В этой связи проведение дноуглубительных работ требует обязательного согласования объёмов, видов и сроков на основе независимого руслового мониторинга между всеми водопользователями.

В правовом аспекте указанные положения должны реализовываться в виде отмены действующей системы предоставления водного объекта в пользование, которая изначально является порочным механизмом, приводящим к конфликту между рыбодобывающими предприятиями. Её должна заменить подготовка проектов хозяйственной деятельности, предусматривающая их согласование с работой рыбохозяйственных организаций [Постановление..., 2008]. В частности, контроль за возможными экологическими последствиями для каждого конкретного инженерного решения должны осуществлять органы Федерального агентства по рыболовству на основе анализа документации, обосновывающей размещение хозяйственных и иных объектов (предпроектная и проектная документация и проекты технической документации), данных об оценке воздействия планируемой деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среду их обитания с учётом рыбохозяйственного значения водных объектов. В этой связи ключевую роль в оценке послед-

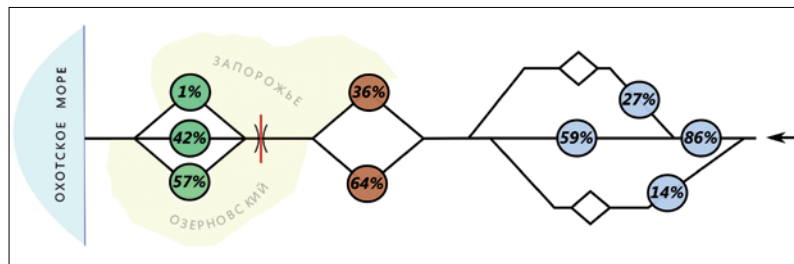


Рис. 3.81. Распределение стока воды по рукавам разветвлений р. Озёрной

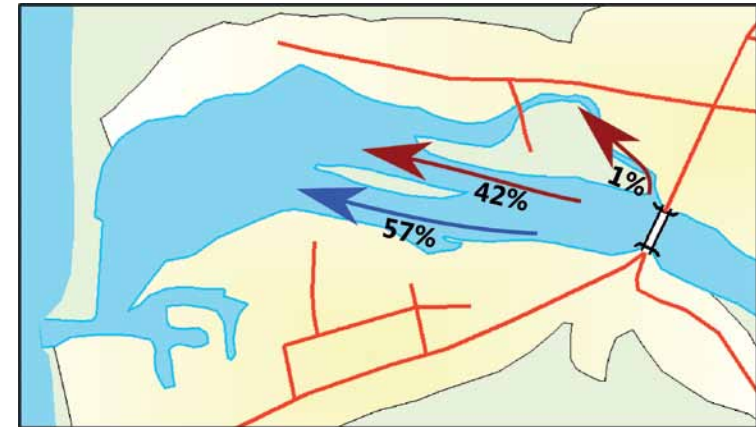


Рис. 3.82. Участки благоприятного и неблагоприятного режима проточности в рукавах р. Озёрной (синяя стрелка — активизирующаяся протока, красные — отмирающие; в процентах указано распределение расходов воды)

ствий проведения дноуглубительных работ должен играть мониторинг русловых процессов (см. гл. 4.4).

Согласование инженерных мероприятий (капитального и некапитального характера) в рыбохозяйственных и природоохранных органах в соответствии с действующим законодательством [Постановление..., 2008] при ежегодном мониторинге экологических последствий является единственно возможным разрешением конфликта интересов водопользователей на устьевом участке р. Озёрной. Процедуре согласования должны подлежать любые мероприятия независимо от объёма, вида и сроков проводимых работ. Должно регламентироваться проведение всех дночерпательных, дноуглубительных и прочих работ для каждого случая отдельно и основываться на результатах ежегодного мониторинга русловых процессов. Допустимость проведения руслорегулирующих мероприятий определяется по результатам оценки современных тенденций перестроения русла для каждого конкретного случая техногенного вмешательства. Результатами мониторинга, который необходимо осуществлять на многолетней основе, должна стать детальная объективная оценка современных тенденций в перестроениях русел рек.

Большие уклоны территории и значительная водоносность многих камчатских рек отражаются в интенсивных горизонтальных деформациях, приводящих к размывам дорог, обрушениям мостовых переходов и строений по берегам рек, неустойчивости руслорегулирующих и берегоукрепительных сооружений. Минимизация опасных русловых процессов и сохранение среды обитания лососёвых рыб при ведении хозяйственной деятельности связаны как с реализацией технически обоснованных инженерных решений, так и с учётом закономерностей руслоформирующей деятельности самой реки при их проектировании. Опыт эксплуатации линейных переходов через реки, реализации берегозащитных мероприятий и регулирования русла показывает, что недоучёт фоновых (естественных) закономерностей развития русловых процессов приводит к стихийно-разрушительным его проявлениям, создавая угрозу

инженерным сооружениям на берегах и руслах рек и одновременно вызывая значительное негативное воздействие на среду обитания рыб.

Типовыми проблемами организации линейных переходов через реки Камчатки, приводящими как к запроектному ущербу сообществам водных организмов, так и к непосредственной угрозе устойчивости самих инженерных сооружений, являются:

— влияние конструкций сооружений на изменение гидравлической структуры водного потока, перераспределение расходов воды по рукавам, формирование новых зон боковой и глубинной эрозии, а также аккумуляции наносов выше и ниже створа перехода;

— недоучёт естественных экстремально высоких темпов русловых деформаций, характерных для предгорных широкопойменных рек с пойменно-русловыми разветвлениями;

— недостаточный учёт максимальных расходов воды и ошибки в оценке пропускной способности водопропускных сооружений.

Аналогичные проблемы характерны и для мероприятий по регулированию русел рек Камчатки. Часто они выполняются в виде аварийно-восстановительных работ и приводят к обратному эффекту — усилению негативных проявлений опасных процессов. Например, расчистка проток на участках пойменно-русловых разветвлений, практиковавшаяся на некоторых реках, вызвала интенсификацию русловых деформаций на участках спрямления и увеличению их нестабильности. Активизация русловых деформаций в дальнейшем являлась фактором воздействия на сообщества лососёвых рыб. Любая хозяйственная деятельность по берегам и в руслах крупнейших полугорных разветвлённых рек Камчатки (Авача, Большая (Быстрая Малкинская), Палана и др.) сопряжена с негативными проявлениями опасных русловых процессов и должна реализовываться только в исключительных случаях.

По мере развития хозяйственной деятельности на Камчатке в долинах рек формируются новые природно-антропогенные условия обитания лососей. Хозяйственная деятельность оказывается направленной на снижение опасных русловых процессов и увеличение устойчивости речных русел, что можно рассматривать как фактор стабилизации среды обитания. С другой стороны, неизбежное исчезновение естественных мест обитания лососёвых рыб негативно сказывается на их популяции. Накопленный опыт реализации различных видов хозяйственной деятельности на реках Камчатки позволяет оценить возможность безопасного (в техническом и экологическом смысле) осуществления мероприятий по регулированию русел рек и организации различного вида строительных работ по берегам рек, освоения минеральных, рекреационных ресурсов. Комплексный учёт природных, социальных, экономических и экологических факторов, основанный на поливариантном прогнозе, позволяет выбрать оптимальную стратегию минимизации проявления опасных русловых процессов.

Установленные формы опасных проявлений русловых процессов при разных видах хозяйственной деятельности, рассмотренные в настоящем разделе, лежат в основе выработки научно обоснованных подходов к управлению русловыми процессами и сохранению среды обитания лососёвых рыб. Безопасность хозяйственной деятельности при минимизации экологического ущерба определяется качеством проведения инженерно-гидрометеорологических изысканий на реках и уровнем проектов инженерных работ.

Глава 4

НАУЧНО ОБОСНОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ РУСЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ И СРЕДОЙ ОБИТАНИЯ ЛОСОСЁВЫХ РЫБ

Организация хозяйственной деятельности в долинах рек предполагает последовательность действий, направленных, среди прочего, на получение детальных сведений о надёжности сооружений с точки зрения воздействия от опасных природных (русловых) процессов, а также изменении среды обитания водных организмов. Многие из осуществляемых подготовительных видов работ закреплены нормативными документами. В результате безопасность хозяйственной деятельности и минимизация экологического ущерба определяется качеством проведения инженерных изысканий на реках и уровнем проектирования инженерных сооружений. В условиях экстремальности проявлений русловых процессов и уязвимости сообществ лососёвых рыб, характерных для рек Камчатки, особое значение приобретает научное обоснование тех или иных инженерных решений. Детальность, полнота и грамотность русловых и экологических исследований в итоге определяют эффективность проектных решений с точки зрения технической и экологической безопасности.

4.1. Нормативно-правовая база гидрометеорологических и экологических исследований при хозяйственной деятельности в долинах и руслах лососёвых рек

4.1.1. Общие положения

Хозяйственная деятельность в пределах речных долин связана с освоением и использованием водных ресурсов — запасов подземных и поверхностных вод, а также защитой от неблагоприятного действия природных вод. При этом создаются гидротехнические сооружения [ГОСТ 19185-73], предназначенные для использования и охраны водных ресурсов или предотвращения вредного воздействия вод. К основным из них следует относить те, разрушение или повреждение которых приводит к нарушению нормальной работы электростанций, прекращению или уменьшению подачи воды для водоснабжения и орошения, подтоплению осушаемой и затоплению защищаемой территории, прекращению или сокращению судоходства, деятельности речного и морского портов, судостроительного и судоремонтного предприятий или может привести к выбросу нефти и газа из морских скважин, хранилищ, трубопроводов, ущерббу рыбным запасам.

Помимо гидротехнических в реках осуществляются различные иные виды инженерных мероприятий и возводятся инженерные сооружения, например, мосты и переходы трубопроводов. Хозяйственная деятельность в долинах и руслах рек также связана с планировкой и застройкой населённых пунктов, разведкой и добычей полезных ископаемых, организацией рыболовства. В последнем случае характерной и специфической чертой рек Камчатки является проведение дноуглубительных работ, направленных на обеспечение устойчивости рыбного промысла (рис. 4.1).

По конструкции и строительным материалам сооружения разделяются на постоянные и временные (тяжёлого и лёгкого типа соответственно) [Алтунин, 1962]. Постоянные сооружения представляют собой долговечные инженерные конструкции, возводимые из прочных материалов: камня, бетона, железа, армированного бетона, железобетона, бетонных плит или железобетонных массивов (бетонитов), габионной кладки и т. п. Временные сооружения возводятся с максимальной скоростью для борь-



Рис. 4.1. Классификация инженерных сооружений [по СТО ГУ ГТИ 08.29-2009]

Синяя рамка — встречающиеся на Камчатке, закрашены — рассматриваемые в данной работе

бы с возможной аварией или для её ликвидации, при этом применяют часто подручные и недолговечные материалы: хворост, колья, каменно-хворостяную, фашинную и туюфачную кладки, дёрн и т. п.

Конкретные виды хозяйственной деятельности могут быть разбиты на под-разделы в зависимости от конструктивных решений. Переходы через водотоки классифицируют по типам искусственных сооружений. Дороги могут пересекать водные объекты [Андреев, 1980] в виде мостов (сооружения, проводящие дорогу над водным

препятствием); тоннелей (сооружения, проводящие дорогу под водным препятствием); фильтрующих дамб (сооружения, пропускающие воды через пористую кладку); дамб (сооружения, пропускающие воду через водопропускные сооружения). Магистральные трубопроводы (газопроводы, нефтепроводы и нефтепродуктопроводы) следует прокладывать подземно (подземная прокладка). Прокладка их по поверхности земли в насыпи (наземная прокладка) или на опорах (надземная прокладка) допускается только как исключение при соответствующем обосновании [СНиП 2.05.06-85]. При этом должны предусматриваться специальные мероприятия, обеспечивающие надёжную и безопасную эксплуатацию трубопроводов и, присваиваются разные категории участкам магистральных трубопроводов в местах пересечения рек.

Регулирование русел как особый вид активных инженерных мероприятий связан с разработкой комплекса мероприятий по упорядочению режима рек для защиты сооружений и культурных земель от подмыва, размыва, затопления (наводнения) водными потоками, для направления течения воды и движения наносов для разных водохозяйственных целей. Выделяются 3 основных конструктивных группы: выправительные сооружения (комплекс работ по возведению гидротехнических сооружений, в результате которых преобразуется русло реки за счёт использования свободной энергии и формирующей деятельности потока); защитные (сооружения для защиты культурных земель, населённых пунктов и промышленных предприятий от размыва, затопления (наводнения) и подтопления); регулировочные (для регулирования водных потоков). На Камчатке все они получили широкое распространение для защиты населённых пунктов и автодорог от негативного воздействия речных вод, а также при организации рыболовства.

Любой вид хозяйственной деятельности в долинах рек требует защиты от опасных природных (русловых) процессов. В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 1303 от 06.11.1998... все гидротехнические сооружения подлежат декларированию безопасности, целью которого является обоснование безопасности гидротехнических сооружений, их соответствие критериям безопасности, проекту, действующим техническим нормам и правилам, а также определяющим характер и масштаб возможных аварийных ситуаций и меры по обеспечению безопасной эксплуатации. В зависимости от значимости и опасности последствий их разрушения гидротехнические сооружения подразделяются на 4 класса [Асарин и др., 2012]. Согласно СНиП 2.06.01-86 класс гидротехнического сооружения определяется его высотой, конструкцией и типом грунтов основания, объёмом водохранилища и установленной мощностью ГЭС, условиями эксплуатации, социально-экономической ответственностью и последствиями возможных гидродинамических аварий и должен назначаться с учётом их значимости для защиты сооружений, территории и объектов, расположенных в нижнем бьефе гидроузла. Класс основных гидротехнических сооружений комплексного гидроузла, обеспечивающего одновременно потребности нескольких участников водохозяйственного комплекса, надлежит устанавливать по сооружению, отнесённому к более высокому классу.

Все мероприятия и сооружения, создаваемые в бассейне, долине и русле реки, определяют антропогенную (и техногенную) нагрузку на среду обитания лососёвых рыб [Беркович и др., 2000]. Они вызывают дополнительные (по отношению к естественным) опасные явления и ситуации для инженерных сооружений (табл. 4.1). Строительство (реконструкции) и эксплуатация сооружений по типу влияния на русловые процессы и сообщества водных организмов могут быть подразделены на:

- прямые — нарушение поперечного сечения русла, его формы и уклона;
- косвенные — нарушения, связанные с изменениями стока воды и наносов.

Таблица 4.1. Антропогенные факторы экологического состояния речных русел и их проявления (по Берковичу и др. [2000] с дополнениями)

Антропогенные факторы	Характер воздействия на русло	Масштаб влияния (распространение по реке)	Примеры на Камчатке
Урбанизация	Прямое	Локальное	р. Авача и р. Половинка в Елизово
Карьеры	Прямое	Локальное	–
Разработки россыпей	Прямое	Локальное	р. Левтыринываем, р. Ветвей (бассейн р. Вывенки); р. Ага (бассейн р. Ича)
Транспортное выправление	Прямое	Локальное	р. Камчатка, р. Озёрная (нижнее течение)
Гидротехническое строительство	Прямое и косвенное	Региональное	р. Быстрая Эссовская, р. Толмачёва
Обвалование русел	Прямое и косвенное	Региональное	–
Водопотребление и водосброс	Косвенное	Региональное	р. Авача
Распашка водосборов и пойм, сведение лесов	Косвенное	Региональное	–
Мелиорация в речных долинах	Косвенное	Локальное	р. Первая Красная (бассейн р. Большой (Быстрой Малкинской))

Прочерками показаны нехарактерные для Камчатского края антропогенные факторы.

Рассмотренные в настоящей книге виды хозяйственной деятельности относятся к факторам «двойного действия», которые меняют характер русловых процессов как непосредственно, так и за счёт изменения природных факторов.

Последствия реализации хозяйственной деятельности имеют непосредственно для водной биоты в ряде случаев как положительный, так и отрицательный эффект. Воздействие может быть связано с планируемыми (учитываемыми на этапе проектирования) и сверхпланируемыми (запроектными, не учитываемыми при принятии проектных решений) процессами и явлениями. Активизация опасных русловых процессов в связи с реализацией тех или иных мероприятий приводит к запроектному воздействию. Причиной этого является дополнительный пресс на сообщества водных организмов при размыве нерестилищ, загрязнение рек твёрдым материалом и др. Как было показано, неучёт русловых процессов при организации линейных переходов через реки Камчатки часто приводит к дополнительному ущербу лососёвым сообществам и непосредственной угрозе устойчивости инженерных сооружений.

В результате воздействия на сообщества водных организмов возникает экологический ущерб — фактические и возможные убытки хозяйства, связанные с загрязнением окружающей природной среды (включая прямые и косвенные воздействия, а также дополнительные затраты на ликвидацию отрицательных последствий загрязнения). Он соответствует величине причиняемого биоресурсам вреда и в соответствии с действующим законодательством компенсируется внедрением мероприятий по сохранению запасов рыб и других водных животных и растений. Учёт природных, социальных, экономических и экологических факторов, основанный на поливариантном прогнозе, позволяет выбрать оптимальную стратегию хозяйственного освоения приречных территорий.

4.1.2. Проектирование инженерных сооружений в руслах и долинах рек

Общие вопросы хозяйственной деятельности на реках раскрывает Водный кодекс [2006], он же регулирует режим и характер деятельности водоохраных зон и прибрежных защитных полос. Согласно его ч. 1 ст. 65 водоохраной зоной водного объекта является территория, которая примыкает к береговой линии водного объекта (моря, реки, ручья, канала, озера, водохранилища) и на которой устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной деятельности. Под береговой линией при этом согласно ч. 4 ст. 5 понимается граница водного объекта, которая определяется для: моря — по постоянному уровню воды, а в случае периодического изменения уровня воды — по линии максимального отлива; реки, ручья, канала, озера, обводнённого карьера — по среднесезонному уровню вод в период, когда они не покрыты льдом; пруда, водохранилища — по нормальному подпорному уровню воды; болота — по границе залежи торфа на нулевой глубине. В границах водоохраных зон допускаются проектирование, строительство, реконструкция, эксплуатация хозяйственных и иных объектов при условии оборудования их сооружениями, обеспечивающими охрану водных объектов от загрязнения, засорения и истощения в соответствии с водным законодательством и законодательством в сфере охраны окружающей среды.

На предпроектной стадии (прединвестиционный этап и этап обоснования инвестиций) выполняется сопоставление экономических, технических и природоохранных положений. Важнейшим этапом проектирования хозяйственной деятельности для соблюдения экологической и технической безопасности является выбор места расположения перехода, дамбы, ГЭС и др. Он выполняется путём многовариантного проектирования в рамках технико-экономического обоснования, которое составляется на предпроектной стадии и корректируется при подготовке окончательного проекта.

Наилучшее решение выбирают после конкретного сравнения технически равноценных вариантов по экономическим показателям. Варианты должны сравниваться и по степени воздействия на окружающую среду. Так, переходы через реки, которые представляют собой комплекс сложных и дорогостоящих сооружений, затраты на постройку которых существенно зависят от их места расположения на реке, часто требуют отклонения трассы от её наикратчайшего направления [Андреев, 1980]. Потери на перевозку, неизбежные в этом случае, компенсируются экономией в строительстве и эксплуатации перехода, а также минимизацией экологического ущерба. Определение створа перехода на участке реки осуществляется после выполнения русловой съёмки [ВСН 163-83] и инженерно-геологических изысканий. Выбор места для строительства переходов трубопроводов через реки, разработанный в РАО Газпром РД 51-2-95, определяет следующие предпочтительные участки рек, которые должны отличаться:

- меньшей шириной водоёма при среднем уровне воды;
- плавностью подводного и надводного рельефа;
- отсутствием оползневых и просадочных явлений на берегах;
- наименьшими деформациями над- и подводного склонов берегов;
- меньшими вдольбереговыми перемещениями наносов;
- отсутствием или минимальным наличием скальных пород.

В общем случае предпочтительными считаются плёсовые участки [СТО ГУ ГГИ 08.29-2009]. В целом существующие рекомендации по выбору участков рек для организации хозяйственной деятельности следует признать имеющими декларирующий характер. Реально место должно выбираться исключительно на основе сопоставления всех экономических, природных, природоохранных факторов.

Аналогично выбор места для организации хозяйственной деятельности на поймах рек должен осуществляться на основе анализа опасных русловых процессов. Примеры полугорных разветвлённых рек Камчатки показывают, как находящиеся в безопасности на протяжении десятилетий приречные территории в течение нескольких лет оказывались в зоне активных русловых переформирований.

В основе правильного назначения генеральных размеров сооружений переходов лежат гидрологические расчёты речного стока. Теория и методика расчётов максимального водного стока подробно изложена в соответствующих нормативных документах [СП 33-101-2003] и научных трудах [Гидрологические... 1987; Евстигнеев, 1990]. Точность получаемых оценок лимитируется детальностью и продолжительностью наблюдений на постах гидрометслужбы. Всего на реках Камчатского края в различное время существовало порядка 200 постов. Однако на многих из них измерения производились в течение всего нескольких лет, на большинстве постов период наблюдений составляет от 10 до 25 лет, количество постов с периодом наблюдений более 30 лет — 38 (рис. 4.2). Эти посты располагаются преимущественно на крупнейших реках полуострова и в пределах равнинных районов. На горных и тем более вулканических реках постов очень мало. Крайне слабой изученностью характеризуются реки северных районов Камчатского края — Корякии. Так, в бассейне р. Вывенки, который расположен на северной границе района исследований, существовал всего 1 пост — на р. Тылговаяе в с. Хаилино, период наблюдений на нём составил 28 лет (пост был закрыт в 1994 г.). В этих условиях на Камчатке определение расчётных гидрологических характеристик проводится для условий недостаточности данных гидрометрических наблюдений. Учёт местных особенностей прохождения максимальных расходов воды достигается при получении региональных зависимостей рассматриваемой гидрологической характеристики от факторов, её определяющих [СП 33-101-2003].

Сравнение вариантов по технико-экономическим показателям, основными из которых являются единовременные и текущие затраты, выполняется по формуле:

$$P = \frac{E_n}{E_{np}} C + \sum_t \frac{\Delta_t}{(1 + E_{np})^t},$$

где C — единовременные затраты, приведённые к последнему году строительства; Δ_t — текущие затраты на t год; t — срок сравнения вариантов; E_n — нормативный коэффициент сравнительной эффективности; E_{np} — коэффициент приведения текущих затрат к последнему году строительства. Наилучшему варианту соответствует наименьшая стоимость.

Выбор варианта осуществления хозяйственной деятельности предполагает и учёт экологических вопросов. Для разных вариантов проектирования на основе действующей инструкции [Временная методика... 1989] рассчитывается размер

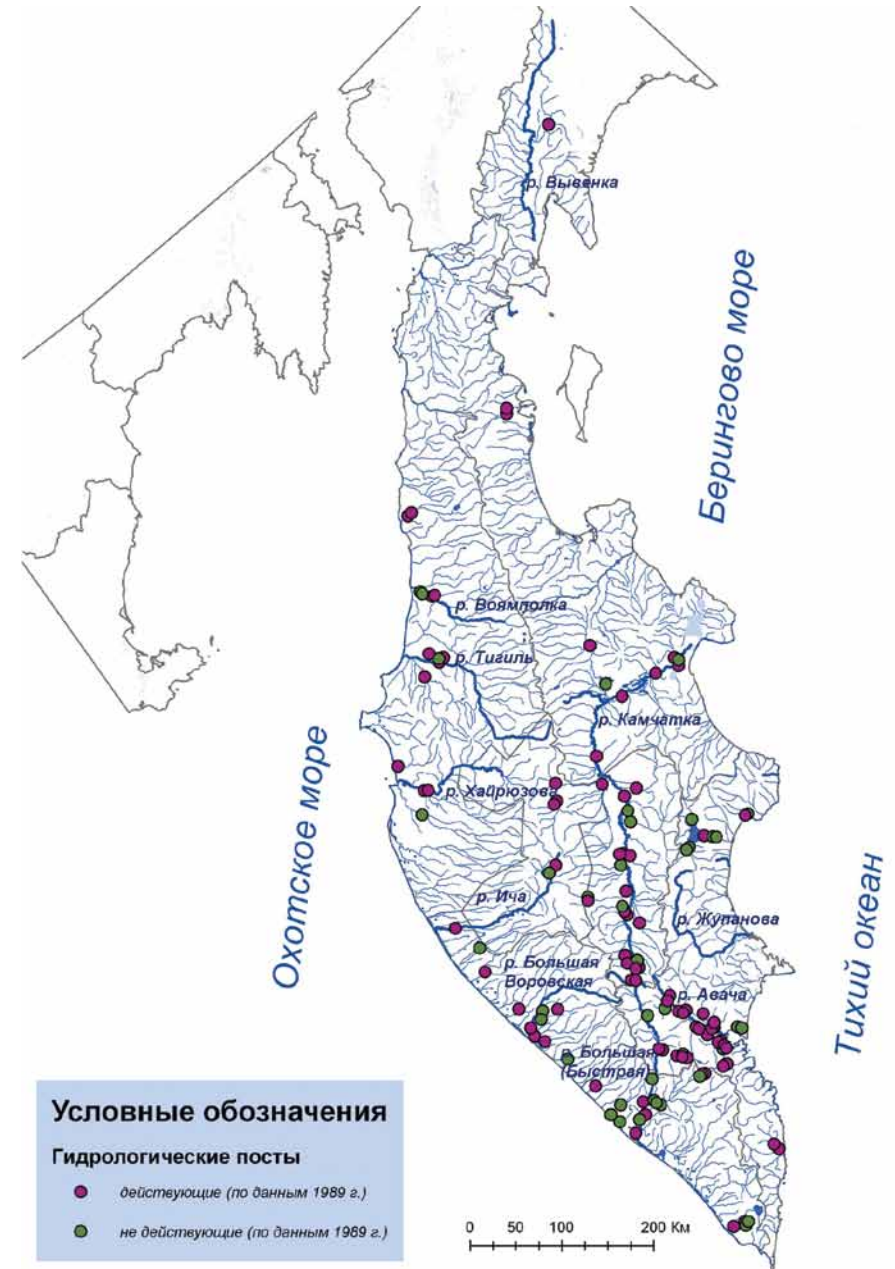


Рис. 4.2. Гидрологическая изученность рек Камчатки

ущерба, наносимого рыбным запасам в результате хозяйственной деятельности. Он включается в разделы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), которая проводится на стадии обоснования инвестиций. Основными составляющими ущерба ресурсам лососёвых рыб при проведении инженерных мероприятий в долинах рек являются:

- отторжение водоохранной и прибрежной территорий;
- потери нерестилищ лососей;
- сокращение нагульных угодий и укрытий молоди рыб;
- потери кормовых ресурсов.

Контроль за соблюдением норм сохранения водных биоресурсов и законодательства в области охраны окружающей среды производится в рамках согласования проекта с рыбохозяйственными организациями [Постановление Правительства РФ № 569... 2008].

Производственный экологический контроль выполнения экологических требований при строительстве подводных переходов осуществляется в соответствии со ст. 71 ФЗ «Об охране окружающей природной среды» [ФЗ, 2002] службой экологического контроля [ВСН 014-89]. В задачу службы производственного экологического контроля входит проверка выполнения всех экологических требований и природоохранных мероприятий, предусмотренных РД 51-2-95 при строительстве переходов, особенно при производстве подводных земляных работ. В своей деятельности служба производственного контроля руководствуется законом об охране окружающей среды РД 51-2-95 и проектами организации строительства входов и производства работ. Затраты на содержание службы производственного экологического контроля предусматриваются в сметной документации строительства магистрального газопровода.

Сам проект хозяйственной деятельности обобщает все накопленные на предыдущих стадиях работ сведения и даёт исчерпывающую характеристику проведённых изысканий, природных (гидрометеорологических и геологических) условий, влияющих на безопасность объекта, конструктивных решений и итоговых вариантов технико-экономического обоснования. Проект дополняется разделом «Охрана окружающей среды».

Государственная экспертиза проектной документации объектов капитального строительства и результатов инженерных изысканий осуществляется на основании Положения «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 05.03.2007 г. № 145.

4.1.3. Проведение инженерно-гидрометеорологических и инженерно-экологических изысканий

Сбор всей необходимой информации для предпроектных работ и проектирования осуществляется в рамках выполнения геодезических, геологических и гидрометеорологических работ. Полнота и объём изысканий (в том числе инженерно-гидрометеорологических и экологических) должны отвечать требованиям норм и правил на инженерные изыскания [СНиП 1.02.07-87, СНиП 11-02-96].

Общие положения и требования к организации и порядку проведения инженерных изысканий (инженерно-геодезических, инженерно-геологических, инженерно-гидрометеорологических и инженерно-экологических) для обоснования предпроектной документации, проектирования и строительства новых, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий, зданий и сооружений для

всех видов строительства и инженерной защиты территорий, а также к инженерным изысканиям, выполняемым в период строительства, эксплуатации и ликвидации объектов, изложены в СНиП 11-02-96.

Данные, необходимые для устойчивого функционирования объектов с учётом требований гидроэкологической безопасности, собираются в рамках инженерно-гидрометеорологических и инженерно-экологических изысканий. Некоторые данные дополнительно поступают от инженерно-геодезических и инженерно-геологических работ.

Инженерно-гидрометеорологические изыскания для разработки обоснований инвестиций в строительство должны обеспечивать:

- изучение гидрометеорологических условий всех вариантов площадок строительства;
- определение возможного воздействия на площадку строительства (трассу) опасных гидрометеорологических процессов и явлений, оценку их характеристик и выдачу рекомендаций для проектирования мероприятий и сооружений инженерной защиты;
- обоснование выбора оптимального (по гидрометеорологическим условиям) варианта площадки (трассы) строительства.

Инженерно-гидрометеорологические изыскания для обоснования проектной документации должны решать следующие задачи:

- уточнение инженерно-гидрометеорологических условий выбранной площадки строительства (направления трассы) и повышение достоверности характеристик гидрологического режима водных объектов и климатических условий района (территории), установленных для разработки обоснований инвестиций в строительство;
- выявление участков, подверженных воздействию опасных гидрометеорологических процессов и явлений с определением их характеристик для обоснования инженерной защиты проектируемых объектов;
- обоснование выбора основных параметров сооружений и определение гидрометеорологических условий их эксплуатации.

Русловые деформации отнесены в разряд опасных гидрометеорологических процессов и явлений. Согласно действующим нормам проектирования переходов через реки [СНиП 2.05.06-85] их следует проектировать только на основе инженерных изысканий, срок давности которых не превышает два года. В действующих нормах проектирования подводных трубопроводов обращено особое внимание на тщательность изучения гидрологических и геологических характеристик каждой водной преграды с прогнозированием деформации русла и берегов водоёмов в течение не менее 25 лет с начала эксплуатации переходов.

Нормативная база оценки русловых переформирований определяется рядом ведомственных документов. На общем уровне анализ русловых переформирований при строительстве трубопроводов через реки выполняется в соответствии с требованиями строительных норм [ВСН 163-83], которые позволяют учесть деформации на участках подводных переходов магистральных трубопроводов. Модифицированный вариант этого ВСН изложен в стандарте Государственного гидрологического института [СТО ГУ ГГИ 08.29-2009], опубликованный в 2009 г. На географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова разработано «Руководство...» [1995]. В него вошёл раздел «Влияние на русловые деформации», где изложена детальная методика учёта воздействия карьеров на режим русловых деформаций. Оценка русловых деформаций в нижнем бьефе ГЭС регулирует СО 34.21.204-2005, подготовленный ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева. Ряд технологий проведения русловых изысканий (руслового анализа) описаны

в СП 32-102-95, разработанных Научно-исследовательским институтом транспортно-го строительства (АО «ЦНИИС») для проведения расчётов местных размывов русла в районах сооружения мостовых переходов. Общие положения проведения русловых изысканий регламентированы СП 11-103-97, определяющим порядок и состав инженерно-гидрометеорологических изысканий для строительства. Эти правила разработаны Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИС), Научно-производственным центром «Ингеодин», институтом «Энергосетьпроект», МосЦТИСИЗ, при участии АО «Гипроречтранс», АО «Институт Гидропроект», ТОО «ЛенТИСИЗ». Методы расчёта характеристик транспорта наносов и русловых деформаций на участке воздействия карьера на русло и русловой поток, размеры, темпы и время полного занесения карьера наносами приведены в СТО ФГБУ «ГГИ» 52.08.31-2012.

Ряд вопросов, регламентируемых нормативными документами, не учитывают специфику многих природных процессов. В частности, оценка опасных русловых процессов рек, отличающихся неустойчивым русловым режимом (русла лахаровых долин, полугорные разветвлённые реки Камчатки) должна осуществляться на основе комплексного руслового анализа, при этом программа работ и сроки ретроспективных и перспективных прогнозов должна быть значительно выше закладываемой нормативными документами. Аналогично для этих рек требуется значительно более детальные инженерные изыскания на участках рек большей протяжённости, а также с использованием более подробной методики прогноза переформирований русел. Одновременно с этим для Камчатского края требуется разработка более жёстких законодательных актов, регламентирующих хозяйственную деятельность, включая частную застройку на приречных территориях с учётом региональных особенностей водного режима и руслоформирующей деятельности рек.

Инженерно-экологические изыскания выполняются для экологического обоснования строительства и иной хозяйственной деятельности с целью предотвращения, снижения или ликвидации неблагоприятных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий и сохранения оптимальных условий жизни населения. Они должны обеспечить:

- комплексное изучение природных и техногенных условий территории, её хозяйственного использования и социальной сферы;
- оценку современного экологического состояния отдельных компонентов природной среды и экосистем в целом, их устойчивости к техногенным воздействиям и способности к восстановлению;
- разработку прогноза возможных изменений природных (природно-технических) систем при строительстве, эксплуатации и ликвидации объекта;
- оценку экологической опасности и риска;
- разработку рекомендаций по предотвращению вредных и нежелательных экологических последствий инженерно-хозяйственной деятельности и обоснование природоохранных и компенсационных мероприятий по сохранению, восстановлению и оздоровлению экологической обстановки;
- разработку мероприятий по сохранению социально-экономических, исторических, культурных, этнических и других интересов местного населения;
- разработку рекомендаций и/или программы организации и проведения локального экологического мониторинга, отвечающего этапам (стадиям) предпроектных и проектных работ.

Материалы инженерно-экологических изысканий должны обеспечивать разработку разделов «Оценка воздействия на окружающую среду» в обоснованиях инве-

стиций и «Охрана окружающей среды» в проекте строительства. Важно, что, в соответствии со СНиП 11-02-96, при обосновании проектных решений для экологически опасных сооружений и градостроительной документации инженерно-гидрометеорологические изыскания следует выполнять в комплексе с инженерно-экологическими изысканиями.

Таким образом, цели и задачи инженерных изысканий направлены на обеспечение технической и экологической безопасности проектируемых и действующих объектов хозяйственной деятельности, расположенных по берегам и в руслах рек. Они являются центральной и ключевой частью подготовки любого проекта хозяйственной деятельности. Комплекс инженерных изысканий направлен на получение необходимой информации о морфологических, гидравлических и динамических характеристиках водного потока и русла реки в объёме, достаточном для разработки проекта, с учётом требований минимизации опасных русловых процессов и сохранения среды обитания и сообществ водных организмов. На основе материалов инженерных изысканий должна быть обеспечена надёжность оценки современных условий формирования русла, возможность разработки прогноза его развития, подготовлена основа для математического моделирования направленности и интенсивности русловых деформаций, особенно для рек, отличающихся неустойчивым русловым режимом.

4.1.4. Критерии сохранения среды обитания и минимизации опасных русловых процессов

Минимизация опасных природных (в том числе русловых) процессов и сохранение среды обитания лососей — необходимое условие осуществления инженерных и гидротехнических мероприятий в руслах и долинах рек. Обоснование необходимых решений проводится в рамках предпроектных и проектных работ и инженерных изысканий. Должны быть предусмотрены [СП 23.13330.2011] решения, обеспечивающие безопасность, надёжность, долговечность и экономичность сооружений, а также охрану окружающей среды на всех стадиях их строительства и расчётного срока эксплуатации.

Учитывая, что любая хозяйственная деятельность сопровождается изменением природных условий, основой для выбора правильной стратегии хозяйственной деятельности (места строительства, типа конструктивных решений) и генеральных размеров сооружений является оценка и прогноз притока воды и русловых деформаций. При этом стабилизация режима русловых деформаций достигается посредством снижения опасности процессов размывов дна и берегов, эрозионных, оползневых, криогенных и других процессов, сведения до минимума риска возникновения аварийных ситуаций из-за воздействия природных факторов. Это стабилизирует динамичность местообитания лососёвых рыб, однако одновременно может приводить к изменению (и разрушению) их естественных характеристик. В этой связи можно выделить ряд количественных и качественных признаков, при которых достигаются соблюдения требований технической и экологической безопасности. Часть из них закреплена соответствующими нормативными документами.

Важнейшим признаком безопасности инженерных объектов являются их неподверженность затоплению, а для некоторых — пересыханию. Местные особенности прохождения максимальных и минимальных расходов воды являются наиболее интегральной характеристикой природных процессов. Безопасность функционирования любых хозяйственных объектов, расположенных в руслах и

по берегам рек, определяется сохранением устойчивости к проявлению опасных русловых процессов (вертикальным и горизонтальным деформациям) и антропогенной нагрузке. Условием этого является сохранение исходного типа русла и гидроморфологических соотношений [Беркович и др., 2000]. При этом для разных, даже смежных участков рек часто характерны значительные отличия по мощности и масштабу проявлений естественных русловых деформаций. В результате морфодинамические характеристики типа русла на участке организации хозяйственной деятельности являются интегральной характеристикой её безопасности.

Различные конструктивные особенности, служащие критериями обеспечения безопасности сооружений, связаны в первую очередь с требованиями СП 23.13330.2011 к устойчивости сооружений.

С точки зрения проявления естественных (природных) русловых процессов в качестве критерия соблюдения безопасности объектов могут быть приняты показатели устойчивости русла [Чалов Р.С., 2008]. Наиболее распространённой является оценка устойчивости русел, производимая на основе специальных показателей. При оценке русловых деформаций на реках Камчатки в качестве такового может быть принят коэффициент стабильности русла Н. И. Маккавеева [Ермакова, 20096]:

$$K_c = d/lb_p \times 1000,$$

где d — средняя крупность наносов, мм; l — уклон, ‰; b_p — ширина русла, м. На этой основе возникает возможность оценки комплексной опасности проявления русловых процессов.

Другим подходом к оценке является прогноз плановых смещений русла. Для этого на основе математических моделей [Камалова, 1988; Carson, Kirkby, 1972] проводится расчёт разрушения (размыва) берегов, которое включает в себя процесс обрушения горных пород, слагающих берега, и удаление их частиц от подножия берегового склона. Оценка интенсивности горизонтальных деформаций может базироваться на прямых наблюдениях за положением уреза или бровки поймы за разные годы на данном участке реки. Наиболее точным методом оценки интенсивности размыва являются фактические многолетние данные о смещении береговой линии. Наиболее перспективной — оценка многолетней динамики бровки русла по данным космической съёмки. Обычно темпы смещения рек в вершинах излучин более 2–3 м в год принято считать высокими [Чалов Р.С., 2008], при этом характерные для многих рек Камчатки темпы размыва излучин до 40 м/год являются экстремальными.

При отсутствии данных съёмки русла за разные годы они могут быть заменены материалами по рекам-аналогам [Чалов Р.С., 1995; СТО ГУ ГГИ 08.29-2009]. Размыв берегов максимален, если берег сложен песками и супесями, и минимален в случае ограничения деформаций торфом и скальными породами. Скальные береговые уступы квазистабильны, их отступление сказывается лишь на протяжении столетий и тысячелетий. Заметное влияние на интенсивность размыва оказывает высота подмываемого уступа (табл. 4.2).

Критерии технической безопасности по характеристикам развития вертикальных деформаций используются при оценке местных размывов возле сооружений мостовых переходов (промежуточных опор мостов; береговых опор мостов, грани которых выступают из конусов насыпей пойменных подходов; струнаправляющих дамб и конусов мостов, регулирующих пойменный поток; сплошных незатопляемых поперечных регулиционных сооружений, отжимающих поток от пойменных насыпей (траверсы) или от

Таблица 4.2. Скорости размыва пойменных берегов средних и больших рек и уступов низких террас ($h_0 < 20-30$ м) с различным геологическим строением [Чалов Р.С., 1995]

Характеристика размыва	Скорость разрушения берегов, м/год			
	песками и супесями	суглинками	глинами	торфами и полускальными породами
Очень сильный	> 10	> 5	> 2	> 1
Сильный	5–10	2-5	1–2	0,5–1
Средний	2–5	1–2	0,5–1	0,2–0,5
Слабый	< 2	< 1	< 0,5	< 0,2

берегов и насыпей на прижимных участках рек (буны, шпоры и т. п.), а также затопляемых сооружений (типа полузатруд) [СП 32-102-95]. При выборе створов подводных переходов, отличающихся активными плановыми переформированиями (блужданием русел), следует учитывать необходимость заглубления трубопровода по всей зоне блуждания русла на данном участке [РД 51-2-95] с учётом обязательного заглубления забалластированного трубопровода не менее 0,5 м ниже линии, прогнозируемой на 25 лет деформации русла реки после окончания строительства перехода, но не менее 1 м от естественных отметок дна водоёма [СНиП 2.05.06-85]. Местные размывы считают на основе СП 32-102-95. Для оценки устойчивости к вертикальному размыву могут быть использованы также интегральные показатели устойчивости русла.

Важным гидрологическим показателем изменения естественного режима рек является транспорт и осаждение взвешенного материала ниже участков воздействия. Этот же фактор на Камчатке часто имеет серьёзные экологические последствия. Рекомендуемые методы оценки дальности распространения так называемой «техногенной мутности» изложены в документах [Временные указания... 1986; СТО ФБГБУ «ГГИ» 52.08.31-2012]. Для больших рек рекомендуются формулы, основанные на решении уравнения баланса наносов или уравнения турбулентной диффузии, например, С.В. Афанасьева:

$$\frac{S}{S_i} = \left(\frac{w}{0,00018} \right)^{-0,0019 \Delta L i \ln \left(\frac{1,7}{v_i} \right) \ln \left(\frac{12,5}{h_i} \right)},$$

где S — концентрация примесей в различных створах, i — номер створа; L_i — расстояние между расчётными створами, м; v_i и h_i — скорость, м/с и глубина, м в i -м створе на оси струи; w — гидравлическая крупность грунта, м/с. Для малых рек при расчёте допускается предположение о ламинарности движения части [СТО 52.08.31-2012]. В таком случае за время dt частица переносится по течению со скоростью $U_x = U_x(z)$ на расстояние $dx = U_x dt$ и оседает под действием силы тяжести $dz = -wdt$. Выпадение на дно частицы, находившейся при $x = 0$ на свободной поверхности, при средней скорости на вертикали w происходит на расстоянии L [Гиргидов, 2003]:

$$L = \int_0^L dx = \int_0^L \left(\frac{u_x dt}{dx} \right) dx = \int_h^L u_x \left(-\frac{dz}{w} \right) = \frac{1}{w} \int_0^h u_x dz = \frac{hw}{w}.$$

Возможности применения этих расчётных технологий для оценки состояния рек Камчатки в районах хозяйственной деятельности изложены в главе 3.1. Допустимое увеличение взвешенных веществ согласно действующему Перечню рыбохозяйственных нормативов [Нормативы..., 2011] устанавливается следующим образом:

- не превышение природного фона более чем на 0,25 мг/л для р/х водотоков высшей и первой категории;
- для водотоков, содержащих в межень природной взвеси более 30 мг/л, допускается её увеличение до 5%;
- запрет на сброс в водотоки взвесей со скоростью осаждения более 0,4 мм/с.

Нормы качества воды в водных объектах и её природный состав и свойства должны соблюдаться в пределах всего рыбохозяйственного участка [РД 153-34.2-02.409-2003].

Другими формами воздействия при реализации гидротехнического строительства и инженерных мероприятий в долинах и руслах рек являются изменение свободной миграции рыб и механическое уничтожение нерестилиц (табл. 4.3). Водоохранные требования к различным видам хозяйственной деятельности должны обеспечить нормативное качество воды в водных объектах рыбохозяйственного значения или, при их превышении, сохранение состава и свойств воды, сложившихся под влиянием природных процессов.

Ещё одним критерием экологической безопасности являются нормативы допустимого воздействия на водные объекты [Водный кодекс..., 2008; Методические указания..., 2007]. В соответствии с Методическими указаниями... [2007], нормативы допустимого воздействия на водный объект разрабатываются для следующих видов воздействий: 1) привнос химических и взвешенных веществ; 2) привнос радиоактивных веществ; 3) привнос микроорганизмов; 4) привнос тепла; 5) сброс воды; 6) забор (изъятие) водных ресурсов; 7) использование акватории водных объектов для строительства и размещения причалов, стационарных и/или плавучих платформ, искусственных островов и других сооружений; 8) изменение водного режима при использовании водных объектов для разведки и добычи полезных ископаемых.

Для рассматриваемых видов хозяйственной деятельности на Камчатке основным типом воздействия является загрязнение (привнос химических и взвешенных веществ) и изменение водного стока.

Основной нормирования хозяйственной деятельности, негативно влияющей на окружающую среду, является сопоставление данных о количестве поступающих в водные объекты загрязняющих веществ с действующими нормативами предельно допустимых концентраций [Шарапов, 2010]. Норматив допустимого воздействия на водные объекты — это допустимое совокупное воздействие всех источников, расположенных в пределах речного бассейна или его части, на водный объект или его часть. Норматив допустимого воздействия разрабатывается для водных объектов или их участков, которые могут быть подвергнуты в течение ближайших 5 лет существенным нагрузкам в результате хозяйственной и иной деятельности на соответствующей водосборной территории, включая акваторию водного объекта. По сути, норматив допустимого воздействия — это инструмент определения допустимого влияния любых инженерных мероприятий в руслах и по берегам рек на сообщества водных организмов (например, в части поступления твёрдых веществ).

Для водных объектов рыбохозяйственного значения действующим законодательством указывается на необходимость разработки региональных нормативов ПДК веществ с учётом природных особенностей водных объектов.

Главной проблемой применения указанных методов к условиям Камчатки является существование одних и тех же значений предельно допустимых концентраций для всех типов вод и географо-климатических регионов. В результате для Камчатки, где лотические экосистемы вулканических районов сформированы под влиянием поступления в водотоки пирокластических горных пород, токсичных веществ, фоновые концентрации взвешенных веществ отличаются на реках в сотни раз. Проблемой нормирования нагрузки является и тот факт, что предельно допустимые концентрации основаны на гигиенических и рыбохозяйственных требованиях, ограничивающих уровень загрязнения воды для потребления человеком и для разведения рыб и урюбного промысла. Однако экологические параметры, учитывающие состояние сообществ водных организмов, по мнению некоторых авторов [Баготский и др., 1992], пока не находят отражение в системе предельно допустимых концентраций. Как было показано, для лососёвых рек Камчатки критическое значение загрязнения, устойчивое превышение которого приводит к негативным последствиям для лососёвых рыб, может быть ориентировочно принято равным 25 мг/л (гл. 2). При этом кратковременные повышения мутности воды выше этих значений могут быть экологически допустимыми.

Ряд нормативных ведомственных документов регламентирует различные правила строительства и эксплуатации инженерных сооружений с учётом требований экологической безопасности. К ним относятся, например, документы, принятые в РАО Газпром [РД 51-2-95] и АК Транснефть [Регламент..., 2001]. Регламентируются сроки и способы производства работ с учётом биологических ритмов ихтиофауны [СНиП 3.02.01-87], устройство пеездов через водотоки даже для временных дорог и проездов и др. Особое внимание с точки зрения экологических критериев строительства уделяется требованиям по обеспечению свободной миграции рыб. Согласно ст. 22 № 52-ФЗ «О животном мире» [1995] и ст. 26 Требований... [1996], при пересечении водотоков транспортными магистралями должна обеспечиваться свободная миграция рыб, водных и околородных животных и обеспечиваться рыбохозяйственные пропуски, создающие оптимальные условия воспроизводства рыб. Искусственные сооружения (кульверты, арки, мосты) не должны создавать препятствий для мигрирующих вверх и вниз по течению рыб. К данным сооружениям предъявляются особые рыбохозяйственные требования [Леман, Лошкарёва, 2009], принятые для условий Камчатки. Минимальная глубина воды внутри водопропускных труб должна соответствовать среднему минимальному 7-дневному расходу воды или расходу воды 95%-ной обеспеченности за период миграции лососёвых рыб. Рекомендованная глубина воды в трубах составляет 20–30 см в меженный период. При выборе типа сооружения (кульверта, арки и т. д.), а также способа его установки на лососёвых водотоках следует исходить из рыбохозяйственных требований, обобщённых в табл. 4.3.

4.2. Учёт опасных русловых процессов

Реки, являясь источниками жизни и объектами хозяйственной деятельности, нередко вследствие развития русловых деформаций оказывают неблагоприятные воздействия на инженерные сооружения, коммуникации и населённые пункты, находящиеся на их берегах и приречных территориях. Устойчивость речных русел и

Таблица 4.3. Требования к гидрологическому режиму внутри водопропускных труб на лососёвых реках Камчатского края [Леман, Лошкарёва, 2009]

Длина водопропускной трубы	Чавыча, кижуч, нерка, проходная микижи	Горбуша, кета, жилая форма микижи, мальма, кунджа	Гольцы, хариус и др. виды длиной менее 15 см	Молодь лососёвых рыб
Максимальная скорость течения (м/с) в трубе				
От 3 до 20 м	1,8	1,5	1,2	0,6
20–30 м	1,5	1,2	1,2	0,6
30–60 м	1,2	0,9	0,9	
60–90 м	0,9	0,6	0,6	
Свыше 90 м	0,6	0,6	0,3	—
Минимальная глубина (м) воды в трубе				
	0,30	0,25	0,25	
Максимальный перепад уровня воды (м) на входе в трубу				
	0,30	0,25	0,15–0,25	

интенсивность развития горизонтальных русловых деформаций как природного, так и антропогенного происхождения являются важнейшими характеристиками при оценке возможных опасных проявлений русловых процессов. Ключевым вопросом становится определение фоновых условий развития русловых процессов, определяющих безопасность хозяйственной деятельности в руслах рек. Интегрально такая работа может быть выполнена на основе балльной оценки опасности русловых процессов (от 1 до 4) [Беркович и др., 2000].

На основании наблюдений и расчётных данных была выполнена адаптация методики определения опасности русловых процессов к условиям Камчатского полуострова. Рекам, относящимся к той или иной группе по устойчивости русла (см. табл. 1.8, с. 45), соответствует определённый балл опасности развития русловых процессов (табл. 4.4). За основу этой оценки принято определение устойчивости русел рек и русловых деформаций на основе коэффициента стабильности Н. И. Маккавеева.

Оценка потенциальных рисков, связанных с развитием русел того или иного типа, производилась на основании данных по устойчивости русел и темпах развития горизонтальных русловых деформаций (скорости смещения берегов, интенсивности переформирования с возможными последствиями структуры разветвлённых русел). Рекам с неустойчивым руслом и высокими темпами русловых переформирований с возможными последствиями присваивался максимальный балл опасности. К таковым относится равнинное меандрирующее русло р. Камчатки в среднем и нижнем течении,

Таблица 4.4. Опасности* проявления русловых процессов на реках Камчатки

Тип русловых процессов	Морфодинамический тип русла	Устойчивость русла	Балл опасности развития русловых процессов
Равнинный	Свободно меандрирующее	Неустойчивые	4
Равнинный	Свободно меандрирующее; пойменные и русловые разветвления	Слабоустойчивые	3
Полугорный	Пойменные и русловые разветвления (наиболее крупных рек Камчатки)	Неустойчивые	4
Полугорный	Пойменные и русловые разветвления; свободно меандрирующее	Слабоустойчивые	3
Полугорный, горный, русла с развитыми аллювиальными формами	Прямолинейное русло с осередковыми разветвлениями (блуждающие русла вулканических рек)	Неустойчивые	4
Горный, русла с развитыми аллювиальными формами	Русловые и пойменные разветвления	Слабоустойчивые	3
Горный, русла с развитыми аллювиальными формами	Прямолинейные, чередующиеся с адаптированными излучинами и русловыми разветвлениями	Относительно устойчивые и устойчивые	1–2
Горный, русла с неразвитыми аллювиальными формами и порожисто-водопадные	Прямолинейные, чередующиеся с врезанными или адаптированными излучинами и русловыми разветвлениями	Устойчивые	1

* Опасность развития русловых процессов: 1 — низкая (устойчивое русло); 2 — средняя (относительно устойчивое и устойчивое русло); 3 — высокая (слабоустойчивое русло); 4 — максимальная (неустойчивое русло).

полугорные разветвлённые русла наиболее крупных рек полуострова — Быстрой (Большой) в нижнем течении, Авачи в среднем и нижнем течении. На них в частности зафиксированные размывы берегов достигают 40 м/год. Одновременно именно этот тип рек наиболее характерен для долин крупнейших рек в предгорных и равнинных районах, отличающихся наибольшей хозяйственной освоенностью.

Абсолютно неустойчивые русла (балл опасности 4) характерны также для вулканических рек с осередковыми разветвлениями. Вместе с колебаниями стока воды динамика таких русел носит ярко выраженный суточный характер; темпы переформирования отдельных рукавов измеряются минутами. Однако районы современной вулканической активности, где распространены русла указанного типа, практически не заселены и не используются в хозяйственных целях. Поэтому негативные последствия русловых процессов вулканических рек и их фактическая опасность для человека сводятся к минимуму. Можно, очевидно, говорить лишь о потенциальной опасности, которая вероятна только при освоении территории (например, при проложении туристических или научно-экспедиционных маршрутов).

На горных реках в условиях ограниченного развития русловых деформаций и формирования относительно устойчивых и устойчивых русел вероятность размыва берегов и опасности проявления русловых процессов минимальны, но при условии, что в процессе хозяйственной деятельности не происходит изменение структуры потока. В противном случае даже невысокие потенциальные риски русловых процессов могут перейти в разряд высокой фактической опасности.

Региональный анализ показывает, что много хозяйственных объектов Камчатки расположены по берегам и в руслах неустойчивых и слабоустойчивых рек (рис. 4.3). Среди 47 переходов через средние и крупные реки автодорог Петропавловск-Камчатский—аэропорт, Петропавловск-Камчатский—Мильково, Мильково—Ключи—Усть-Камчатск и с-з Начикинский—с. Усть-Большерецк—пос. Октябрьский 14 относятся к неустойчивым руслам и 23 — к слабоустойчивым. Среди 32 средних и крупных рек, пересекаемых трассой Камчатского магистрального газопровода, 4 относятся к неустойчивому и 19 — к слабоустойчивому руслу (рис. 4.4).

Разработанная региональная классификация русловых процессов по опасности их проявления должна учитываться при разработке стратегий освоения водных ресурсов региона и территориальном планировании. В частности, опасность русловых процессов в пределах разветвлённых русел полугорных рек представляет собой вполне реальную угрозу для жизни и хозяйственной деятельности населения, определяя необходимость защиты берегов от размывов, укрепления хозяйственных объектов и переходов через реки. Разные виды хозяйственной деятельности оказались приурочены к наиболее сложному типу — пойменно-русловым разветвлениям. На примере русла р. Авачи было показано, что разветвлённый участок характеризуется экстремальными темпами размывов берегов, быстрым развитием одних и отмиранием других рукавов. Выявленные темпы отступления берегов в вершинах излучин (до 40 м/год) соответствуют максимальным, встречающимся в природе. Это обусловлено уникальным сочетанием геолого-геоморфологических (высокие уклоны русла, легкоразмываемые грунты, широкая и низкая пойма), гидрологических (высокие и резкие половодья) и местных (интенсивный карчеход и образование заломов) факторов. Неучёт их привёл к проблемам эксплуатации переходов Камчатского МГ через р. Авачу, Колпакову, Воровскую, населённых пунктов Северные Коряки, Раздольный и др., которые изначально были построены на крайне неблагоприятных участках.

С одной стороны, неучёт потенциальной опасности русловых процессов — основная причина негативных последствий хозяйственной деятельности в долинах рек для безопасности инженерных объектов. С другой — высокие фоновые значения реформирований русел рек однозначно являются причиной негативного воздействия на сообщества лососёвых рыб. Уникальной ситуацией для полуострова является крайне высокое распространение неустойчивых русел в зоне расположения хозяйственных объектов (рис. 4.4). В то же время аксиомой считается [Чалов Р.С., 2008], что хозяйственная деятельность недопустима или крайне нежелательна на участках рек с неустойчивым и слабоустойчивым руслом.

Ранжирование участков рек по опасности проявления русловых процессов должно приниматься во внимание при проектировании линейных трасс, положении населённых пунктов. В случае р. Авачи участки абсолютно устойчивого русла расположены в 15 км выше по течению от перехода Камчатского МГ, признанного аварийным в связи с негативными проявлениями русловых процессов уже в первый год после строительства. Ярким примером отсутствия обоснования при выборе места перехода служит переход Камчатского МГ через р. Большую Воровскую (рис. 4.5).



Рис. 4.3. Карта опасности русловых процессов на реках Камчатки и основные хозяйственные объекты, расположенные на берегах неустойчивых рек. Опасность развития русловых процессов: 4 — максимальная (неустойчивое русло); 3 — высокая (слабоустойчивое русло); 2 — средняя (относительно устойчивое и устойчивое русло); 1 — низкая (устойчивое русло).

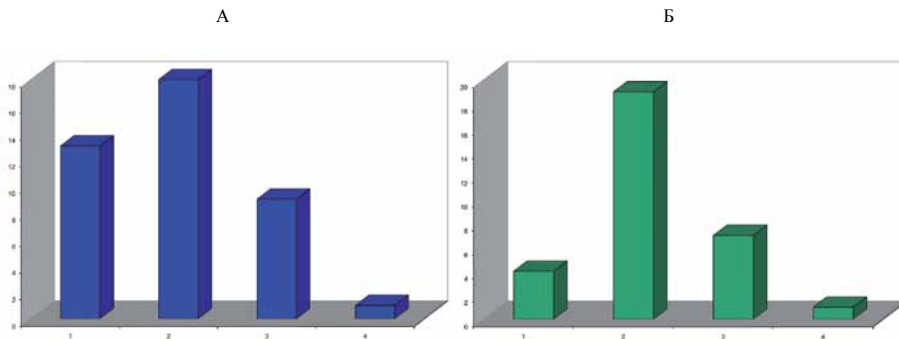


Рис. 4.4. Распределение переходов крупных и средних рек по степени опасности (А — по длине автодороги Петропавловск-Камчатский—Мильково и Мильково—Ключи—Усть-Камчатск; Б — по трассе Камчатского МГ): 1 — неустойчивое русло; 2 — слабоустойчивое русло; 3 — относительно устойчивое и устойчивое русло; 4 — абсолютно устойчивое русло)

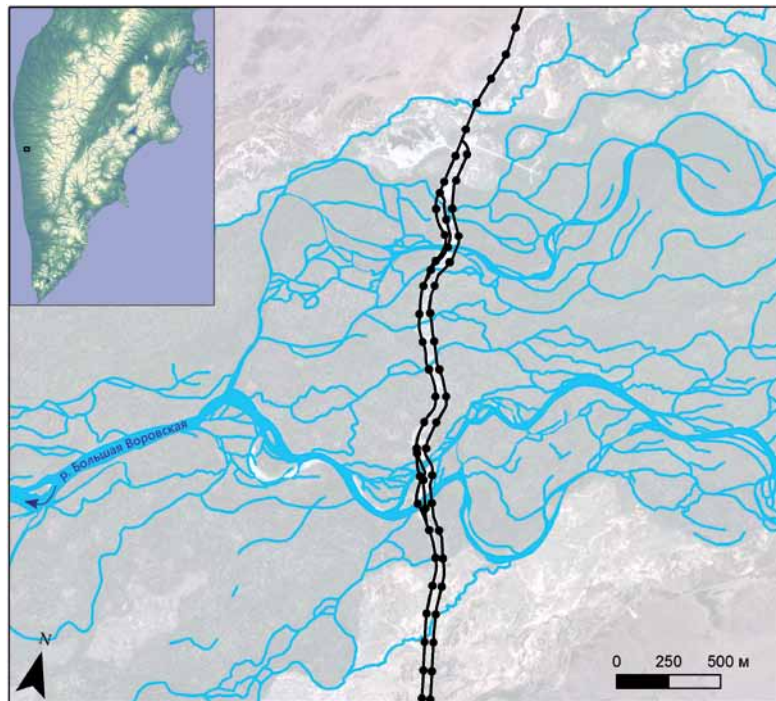


Рис. 4.5. Пример неудачного выбора места перехода через реку (р. Большая Воровская при пересечении с Камчатским магистральным газопроводом)

Набор экологических проблем (см. гл. 3.1), связанных со строительством перехода через разветвлённый участок этой реки, и развитие опасных русловых процессов показали необоснованность выбора его места. Ситуация особенно показательна в связи с тем, что в 2 км ниже по течению пойменно-русловое разветвление заканчивается и тип русла сменяется на прямолинейный неразветвлённый, характеризующийся низкой опасностью проявления русловых процессов. Причина, по которой переход через р. Большую Воровскую не был смещён на более удобный и технически и экологически безопасный участок ниже по течению, кроется в отсутствии учёта гидрологических и экологических критериев при его проектировании.

4.3. Учёт фоновых характеристик русловых процессов

Большая часть водотоков Камчатки относится к так называемым рекам «лососёвого типа» — горным и предгорным водотокам с каменистым ложем, низкой температурой и прозрачной водой, которые пригодны для воспроизводства лососёвых рыб [Леванидов, 1981; Barnes et al., 1983], а промысел лососёвых рыб, нерестающихся в пресных водах Камчатки, в настоящее время составляет основу экономики края. В то же время вулканическая деградация потенциально высокопродуктивных речных экосистем приводит к снижению рентабельности природопользования. Проблемы учёта фоновых характеристик русловых процессов при проведении инженерных изысканий и экологическом мониторинге на Камчатке являются ключевым вопросом адекватного взаимодействия природоохранных организаций и водопользователей. В условиях аномальных проявлений русловых процессов, связанных со специфическими региональными природными чертами, возникают проблемы разработки региональных ПДК и оптимизации методик нормирования техногенного воздействия из-за неравномерности проявления вулканических аномалий [Кузьмич, 2009; Чеботарёв и др., 2012], когда концентрация природных загрязнителей нередко превышает установленные предельные нормативы. Кроме того, природные (естественные) темпы размывов берегов часто приводят к поступлению в реки огромного количества твёрдого материала, значительно превышающего последствия инженерно-строительных мероприятий в руслах рек.

Сложность вопроса состоит в мозаичности фоновых условий среды обитания, в результате чего техногенное воздействие накладывается на совершенно разные начальные (фоновые) уровни. Хозяйственная деятельность может осуществляться на реках с деградированным (либо полностью уничтоженным) сообществом водных организмов. Противоположная ситуация наблюдается в случае, когда хозяйственная деятельность ведётся на реках с максимальным биоразнообразием и численностью лососёвых рыб. Ясно, что определение фоновых природных (техногенно неизменённых) состояний среды обитания должно проводиться дифференцированно для разных рек на основе оценки характера русловых процессов и гидрохимических и гидрологических характеристик рек.

В пределах одного бассейна типичные лососёвые реки соседствуют с водотоками, отличающимися крайне специфическим водным, русловым, температурным или гидрохимическим режимом. Показатели рыбопродуктивности таких рек сложно поддаются пространственной локализации. Чаще всего аномальные факторы среды на Камчатке связаны с проявлениями современного вулканизма и гидротерм. Однако часто наблюдается и удалённое влияние несистемных катастрофических изменений среды в результате извержений, фреатических взрывов, сходов селей, лавовых потоков и т. п.

Например, пеплопад 1956 г. над притоками р. Камчатки вызвал во время половодья гибель всей молоди рыб [Куренков, 1957]. В результате закономерность восстановления характеристик экосистем до уровня, соответствующего не затронутому вулканическими проявлениями, вниз по течению по мере увеличения порядка (водности), часто нарушается. В нижнем течении крупнейших рек вулканических территорий аномальные проявления вулканической деятельности всегда минимальны, однако здесь часто существенно возрастает естественная неустойчивость речных русел. Для таких рек характерна повышенная опасность проявления русловых процессов, где масштабные преобразования руслового рельефа в течение 1 паводка могут приводить к значительным изменениям среды обитания и деградации сообществ.

В этой связи на региональном уровне интегральным инструментом оценки фоновых условий существования лососёвых рыб может служить экологическая классификация рек в техногенно неизменённых условиях, основанная на дифференциации водотоков по характеру аномальных проявлений среды (табл. 4.5). Она позволяет на основе определения региональных факторов среды придать экологический статус водотока в природных (техногенно неизменённых) условиях. Нами было выделено 5 региональных факторов среды, оказывающих влияние на разнообразие, структуру и продуктивность сообществ рыб Камчатки:

- явления пересыхания рек;
- повышенная мутность речных вод;
- специфический состав донных отложений и неустойчивый русловой режим;
- изменённый температурный режим;
- сложный химический состав речных вод.

Первые три непосредственно определяются характером и типом русловых процессов. На формирование температурного режима и химического состава речных вод в большей степени влияние оказывают проявления гидротерм. Экстремальные проявления одного из (нескольких) этих факторов (iii) приводят к уничтожению рыбного населения. При меньших воздействиях (ii) происходит трансформация и частичная деградация сообществ. При фоновых природных значениях (i) аномальное влияние на структуру сообществ не прослеживается. В случае минимального проявления указанных факторов (явления пересыхания рек не выражены, низкая мутность воды, русла устойчивы, нет проявлений гидротерм в химическом и температурном режиме) отмечается максимальное разнообразие и обилие группировок рыб. Обобщение сведений о степени проявленности специфических гидрологических характеристик, обусловленных вулканической деятельностью, позволяет говорить о формировании в пределах вулканических территорий Камчатки трёх типов фоновых (техногенных неизменённых) условий обитания водных организмов (табл. 4.5):

I. Обычные реки, в которых отсутствуют аномальные проявления региональных факторов среды обитания.

II. Реки с аномальными проявлениями, где наблюдается трансформация состояния сообществ по сравнению с «обычными» реками за счёт проявления тех или иных природных процессов.

III. Вулканические (преобразованные) реки, где экстремальные проявления факторов среды привели к угнетению или уничтожения сообществ. Такие реки встречаются в пределах вулканических территорий.

Изменение экологического типа реки по сравнению с обычным (нормальным) состоянием происходит, если хотя бы один из факторов воздействия проявляется аномально (ii или iii). В условиях экстремальных значений (iii) хотя бы одного из факторов наблюдается исчезновение или выраженная деградация ихтиофауны. В моменты

Таблица 4.5. Экологическая классификация рек Камчатки в фоновых (техногенно неизменённых) условиях

Тип реки	Рыбное население	Водный сток	Мутность воды	Русла рек	Температурный режим	Токсичность и pH
I. Обычные реки (без вулканических проявлений)	Типичное (4–8 видов молоди и жилых форм, нерест 3–5 видов анадромных лососей)	Постоянный	Низкая, в среднем < 30 мг/л	Доля пирокластического материала минимальна, в межень образуется аллювиальная отмостка	Нетермальные водотоки	Фоновая региональная концентрация токсичных веществ, нейтральный pH
II. Реки с вулканическими проявлениями	Трансформированное (1–5 видов молоди и жилых форм, нерест 1–4 видов анадромных лососей)	С кратковременным или внутрисуточным пересыханием	Постоянно повышенная, в межень > 10 мг/л, в среднем > 30 мг/л	Сложены пирокластическим материалом, подвижное дно	Тёплые водотоки (увеличение температуры на 5–10 °С в результате выходов термальных вод)	Превышение фоновых концентраций нескольких поллютантов
III. Вулканические реки	Отсутствует или предельно деградировавшее (1 жилой вид)	С сухим руслом большую часть года	Очень высокая, постоянно > 100 мг/л	Абсолютно неустойчивые в лахаровых долинах	Термальные водотоки с постоянной температурой более 20°С	Хронические летальные концентрации поллютантов и (или) pH < 6,0

наименьшей проявленности воздействия на кратковременный нагул из более крупных водотоков в вулканические реки (тип III) заходят жилые формы самых толерантных видов камчатских рыб — гольца — мальмы и колюшек семейства *Gasterosteidae*. В реках со сложным водным режимом и кратковременными обсыханиями русел, устойчивой избыточной мутностью и минерализацией воды, мелкофракционным составом донных отложений, неустойчивыми формами донного рельефа, повышенной температурой воды и превышением фоновых концентраций токсикантов (ii) повсеместно отмечается угнетённое состояние сообществ. Даже при минимальной природной трансформации среды обитания из состава рыбного населения исчезают второстепенные и редкие виды (чавыча, сима *O. masou*, нерка, кунджа *S. leucomaenis*), снижается численность анадромных лососей на нерестилищах. В нижнем течении загрязнённых рек с аномальными проявлениями (тип II) обычно нерестится горбуша, кижуч и проходная мальма, в верхнем течении нагуливается и зимует только мальма. Часто при специфическом сочетании условий образуются обособленные жилые группировки рыб [Есин, Сорокин, 2011]. При этом ни один из факторов среды не достигает экстремальных значений. Отсутствие значимых проявлений аномальных факторов (i) в гидрологических характеристиках определяет образование типичного рыбного сообщества (тип I).

Критериальной основе предложенной типизации посвящены специальные работы [Stanford et al., 2005; Tockner et al., 2006; Чалов С. Р., 2011; Чалов С. Р., Есин, 2014б; и др.]. Несмотря на разнообразие сочетаний факторов среды, большинство из них имеет единую (сопряжённую) природу, что позволяет выделить ограниченное число качественных вариантов модификации условий (табл. 4.6).

Таблица 4.6. Наиболее распространенные на Камчатке варианты фоновых природных факторов

Экологический тип реки	Группы рек*	Водный сток	Мутность воды	Русла рек	Температурный режим	Токсичность и pH
I	Лососёвые ¹	i	i	i	i	i
II	Пересыхающие ²	ii	i, реже ii	i или ii	i	i, реже ii
	Мутные ³	i	ii, редко iii	ii	i	ii
	Замутнённые ⁴	i	ii	i	i	i
	С изменённым руслом ⁵	i	i	ii	i	i или ii
III	Тёплые ⁶	i	i	i, реже ii	ii	ii
	Сухие ⁷	ii и iii	iii	iii	i	ii, реже iii
	Термальные ⁸	i	i	i	iii	ii
	Кислые (токсичные) ⁹	i	ii, реже i	i	i, реже ii	iii

* Согласно распространённым на полуострове названиям.

Примеры водотоков и их принадлежность вулканическим территориям:

- ¹ р. Камбальная (самостоятельный бас., 2), р. Жировая (самостоятельный бас.), р. Крупнинская бас. р. Налычевой), руч. Короткий ключ (бас. р. Тихой) и т. д.
- ² р. Гаванка (бас. р. Авачи), руч. Извилистый (бас. р. Тихой), руч. Ипукик, Тумхан и Китхажинец (бас. р. Быстрой Малкинской), р. Кунча, Кашкан, Урилка, Денохонокая (бас. р. Камчатки);
- ³ р. 1-я Мутная и Фальшивая (самостоятельные бас.), р. Мутная-Авачинская (бас. р. Налычево), р. 2-я Мутная (самостоятельный бас.), руч. Бараний (бас. р. Балхач);
- ⁴ руч. Подгорный (бас. р. Асачи), руч. Козельский (самостоятельный бас.), р. Комарова (самостоятельный бас.), руч. Шумный (бас. р. Перевальной);
- ⁵ руч. Семейный (бас. р. Асачи), р. Бармотина (бас. р. С. Семячика), руч. Ольховый (бас. р. Тихой);
- ⁶ р. 3-я Речка (самостоятельный бас.), руч. Тёплый и Лебяжий (Семячский лиман), р. Гейзерная (бас. Шумной), р. Ключёвка (бас. р. Быстрой Малкинской);
- ⁷ руч. Сухие Речки (бас. р. Авачи), р. Тауншиц (бас. р. Жупановой), водотоки, дренирующие Ключевскую группу вулканов (бас. р. Камчатки);
- ⁸ руч. Быстрый (бас. р. Паужетки), руч. Котёл (бас. р. Фальшивой), руч. Горячий Ключ (самостоятельный бас.);
- ⁹ р. Пр. Фальшивая (бас. р. Фальшивой), руч. Кислый (бас. р. 1-й Мутной), руч. Конгломератовый (бас. р. Озёрной-Восточной).

Вулканические реки (тип III) в зависимости от лимитирующего показателя (водный сток и мутность, температурный режим, токсичность и pH) могут быть отнесены к группе сухих, термальных или кислых (токсичных). Аналогично реки с аномальными проявлениями (тип II) разделяются на пересыхающие, мутные или замутнённые с изменённым подвижным руслом и тёплые. Все реки с обычными характеристиками среды (тип I) служат местом нереста и нагула лососёвых рыб.

Определение природного фонового (техногенно неизменного) статуса водотока используется при проведении оценки техногенного воздействия при проектировании хозяйственной деятельности. При отнесении водотока к типу I оценка техногенного воздействия должна осуществляться согласно действующей в Российской Федерации нормативно-правовой базе по охране окружающей среды. При этом, учитывая восприимчивость лососёвых рыб к техногенным воздействиям, возможна разработка более жёстких региональных законодательных актов, регламентирующих предельно допустимое воздействие. Для рек групп II и III общие принципы оценки техногенного воздействия неприменимы в связи с повышенным фоном. Для этих рек должен быть разработан региональный подход к определению предельно допустимых концентраций, основанный на данных ведения регионального мониторинга водных объектов, учёте местных природных условий формирования качества речных вод и структуры сообществ водных организмов.

4.4. Практические рекомендации обоснования инженерных мероприятий на реках Камчатки

Управление русловыми процессами предусматривает учёт их закономерностей в нужном для рационального использования рек направлении. В результате устраняются или нейтрализуются возможные неблагоприятные последствия для хозяйственной инфраструктуры на реке и приречных территориях и для сообществ водных организмов. Как показывает практика, большое количество просчётов в области технической и экологической безопасности при различных инженерно-строительных мероприятиях на реках Камчатки можно было бы избежать при соблюдении предписаний существующих нормативных документов о проектировании гидротехнических сооружений и проведения инженерных изысканий. Большую роль играет спешность принимаемых технических решений, незнание и неучёт природных процессов, что влечёт за собой неверный выбор технологий. В целом можно констатировать следующие ключевые проблемы управления хозяйственной деятельностью на Камчатке:

- неверный выбор участков осуществления хозяйственной деятельности;
- недостаточный сбор исходных данных о режиме русловых переформирований и сообществах лососёвых рыб;
- неоднозначность в технических решениях.

Выбор участков осуществления хозяйственной деятельности

Главной проблемой несоблюдения безопасности объектов хозяйственной инфраструктуры является изначально неудачный выбор мест их расположения, подробно освещённых в главах 3 и 4.1. Установленные формы опасных проявлений русловых процессов и соответствующие рекомендации для их предотвращения необходимо учитывать при организации любой хозяйственной деятельности в долинах рек. Интегральной оценкой фоновых условий развития русловых де-

формаций служит региональная шкала опасности русловых процессов, позволяющая определить потенциальную благоприятность использования участков рек тех или иных морфодинамических типов русел для хозяйственной деятельности.

Выбор участков для хозяйственной деятельности в руслах и на поймах рек должен быть основан на следующих положениях:

— инженерно-строительные мероприятия на реках, отличающихся максимальным классом опасности (4 балла) (осередковые разветвления рек лахаровых долин и пойменные и русловые разветвления наиболее крупных рек Камчатки), должны осуществляться в исключительном случае;

— вывод о пригодности/непригодности каждого конкретного створа реки для реализации тех или иных мероприятий должен быть основан на оценке режима русловых деформаций на всех структурных уровнях проявлений русловых процессов (река в целом с её поймой; морфологически однородные участки; формы русла — излучины, разветвления, относительно прямолинейные русла; крупные формы руслового рельефа — перекаты, побочки, ленточные гряды) в зависимости от местных особенностей сочетания определяющих их факторов и условий;

— необходимо проведение многовариантного проектирования участков в рамках технико-экономического обоснования проектов хозяйственной деятельности. Наилучшее решение выбирают путём конкретного сравнения технически равноценных вариантов по экономическим показателям и требованиям минимизации опасных русловых процессов и сохранения среды обитания.

Отсутствие соответствующих знаний о природе процесса приводит к впечатлению о стихийно-разрушительных его проявлениях, создаёт угрозу инженерным сооружениям на берегах и руслах рек, необходимости борьбы с ними, что требует больших капиталовложений (такова борьба с заносимостью водозаборов, подмывом опор мостов и пр., возведённых правильно с инженерной точки зрения, но без должного учёта русловых процессов). В соответствии с этим жилая застройка на потенциально опасных участках должна осуществляться только при условии предварительного проведения комплекса работ по гидротехнической защите территорий от опасных русловых процессов, основанных на долгосрочном прогнозе развития русловых деформаций.

О полноте проведения инженерных изысканий

Проектирование и осуществление любых инженерно-строительных сооружений в руслах и по берегам рек недопустимо без инженерных изысканий. Выявление экологических рисков и угроз для объектов хозяйственной инфраструктуры, согласно действующей нормативной базе — это вопрос качественных инженерных гидрометеорологических изысканий.

Естественный процесс и режим изменений морфологического строения русла и поймы под действием текущей воды может осложняться наличием в реке инженерного сооружения. Одновременно и само сооружение может испытывать воздействие как естественного, так и видоизменённого процесса перестроения русла. Всё многообразие сооружений и видов проявления руслового процесса создаёт большое число форм взаимодействия между ними. В каждом конкретном случае прогноз русловых деформаций может быть составлен лишь на основании научной систематизации или классификации указанных форм взаимодействия, рассмотренных в главе 4.1.

Основой для научного обоснования проектирования и эксплуатации сооружений с точки зрения технической безопасности служит нормативно-правовая база и, в частности, порядок проведения инженерных изысканий (гл. 4.1.3). Сложность учёта русловых процессов, а также катастрофические последствия их экстремальных проявлений определяют их отнесение к опасным гидрометеорологическим явлениям [СП 11-103-97]. В этой связи согласно СНиП 2.05.06-85, СНиП 1.02.07-87, РД 51-2-95 переходы газопроводов через водотоки проектируются только на основе инженерных изысканий, срок давности которых не превышает 2 года, и с прогнозированием деформации русла и берегов водоёмов на срок не менее 25 лет с начала эксплуатации переходов. Прогноз деформации дна русел и берегов, масштаб плановых и глубинных изменений проводится на основе инженерно-геологической съёмки в пределах зоны возможных деформаций от 2 до 10 км в обе стороны от створа перехода или с захватом на реках одной излучины вверх и вниз по течению. В результате определяется линия прогнозируемого размыва русла и переформирования берегов на участках переходов на весь срок их эксплуатации с обязательным учётом гранулометрического состава грунтов.

Практика игнорирования порядка проведения инженерных изысканий получила распространение на Камчатке особенно при строительстве Камчатского магистрального газопровода. Даже на реках, характеризующихся высшей опасностью проявления русловых процессов (Авача, Мокушка, Правый Кихчик, Большая Воровская, Колпакова), изыскания в соответствии со СНиП 2.05.06-85, СНиП 1.02.07-87, РД 51-2-95 не выполнялись. Отсутствие плановой съёмки в пределах зоны возможных деформаций от 2 до 10 км в обе стороны от створа перехода, прогноза плановых и вертикальных деформаций русел определило необоснованность и неэффективность проектных решений, начиная от выбора створов переходов. В частности, на переходе через р. Авачу при разработке проектной документации инженерно-гидрологические изыскания были проведены не в полном объёме. Отсутствие в проекте прогноза плановой деформации русел привело к возведению надземного перехода на неустойчивых участках русел без необходимых берегоукрепительных мероприятий. Это привело к негативным проявлениям русловых процессов, подмыву опор воздушного перехода, вскрытию траншеи, оголению трубопровода, его опасным деформациям и, как следствие, необходимости проведения масштабных ремонтно-восстановительных работ.

Одновременно следует учитывать региональные особенности проявления опасных русловых процессов. Требуется разработка региональных методов прогноза русловых деформаций, учитывающая особенности руслового и водного режимов рек Камчатского края. Генерализованное районирование русловых процессов по степени потенциальной опасности развития русловых деформаций, выполненное в данной работе, может быть дополнено более детальным районированием приречных территорий. Учитывая высокую неустойчивость многих участков рек и сложность процессов перераспределения стока по рукавам разветвлённых русел, в ряде случаев при проведении прогноза русловых деформаций на реках Камчатки следует исходить из расширенной программы изысканий. Основные результаты исследований в таком случае должны быть связаны с оценкой современных темпов переформирования русла, динамикой руслового рельефа; определением тенденций развития русла в естественных и техногенно изменённых условиях; прогнозом развития руслового разветвления на долгосрочный период и обоснованием стратегии регулирования русла (включая проектные предложения). Прогноз руслового режима должен основываться на:

- инвентаризации прямых и косвенных техногенных нарушений естественных форм русла и руслового рельефа;
- распределении расходов воды по рукавам разветвлённого русла;
- съёмке планового положения островов и берегов реки;
- учёте относительного изменения высотного положения поверхности дна;
- совмещении картографических материалов на участок реки и созданных картах русловых деформаций;
- результатах поливариантного математического моделирования.

Для детальной оценки возможных вариантов развития разветвлённых русел должна разрабатываться двумерная гидродинамическая модель русла. Такая система позволяет осуществлять оперативный мониторинг всего комплекса существующих и планируемых руслорегулирующих работ и их гидрологических последствий.

Технические решения

В последние годы изучению оптимальных технических и инженерных решений при осуществлении инженерно-строительных проектов на реках Камчатки были посвящены специальные обзоры, обобщающие мировой опыт по природоохранным и мелиоративным мероприятиям [Леман, Лошкарёва, 2009]. Технология строительства и эксплуатация объектов хозяйственной инфраструктуры должна выбираться с учётом оценки опасных русловых процессов, в том числе их фоновых проявлений, а также экологических последствий при реализации разных вариантов хозяйственной деятельности.

Наиболее широкое обсуждение на Камчатке в последние годы получил вопрос выбора наземных и подземных переходов при пересечении рек линейными объектами. Многолетняя история Камчатского МГ показала, что проблема защиты трубопроводов на Камчатке, как от природных, так и от техногенных воздействий, должна решаться многопланово и многовариантно с обязательным учётом прогноза русловых деформаций, а также прогнозных воздействий на водные биоресурсы и среду их обитания, что отражено в соответствующей нормативно-методической документации. Решение этой проблемы не может быть сведено к административному решению о массовом переустройстве уже построенных воздушных переходов в траншейные. Опыт показывает, что какие-либо основания для утверждений о «непригодности» и «ненадёжности» эксплуатации наземных переходов трубопроводов в условиях Камчатского края полностью отсутствуют. Основные технические рекомендации строительства переходов через реки могут быть сведены к следующему:

- при создании подземных переходов глубина заложения трубопровода должна определяться на основании действующих нормативных документов по прогнозированию русловых деформаций в зонах подводных переходов магистральных трубопроводов [ВСН 163-83; СТО ГУ ГГИ 08.29-2009]. В то же время региональной спецификой должно быть установление отметок глубины заложения трубопровода по всей ширине поймы, что отвечает возможности развития новых проток в условиях залесённой поймы и формирования заломов и ледовых зажоров в любом месте поймы в течение одного половодья или крупного дождевого паводка;

- выполнение строительных работ в руслах рек должно проводиться с учётом минимизации прямых техногенных нарушений. Необходимые при ряде технических мероприятий действия по выемке грунтов из русел проток, перемещению

и отсыпке аллювия в виде искусственных насыпей в руслах и на берегах могут выполняться только на основе проекта по периметру опор перехода и шпунтовых ледовоотбойных ограждений. Практика показала, что в результате несоблюдения проекта русла всех функционирующих проток на переходе подверглись сужению (уменьшено живое сечение, произведены другие деформации русловых форм рельефа). Например, суммарное сужение поперечного профиля многорукавного русла р. Большой Воровской в 2010–2011 гг. составило 58,1%;

- при строительстве водопропускных сооружений на ручьях (малых реках) должна обеспечиваться свободная миграция рыб, водных и околородных животных, для чего организуются рыбохозяйственные пропуски, создающие оптимальные условия воспроизводства рыб. Искусственные сооружения (кульверты, арки, мосты) не должны являться препятствием для мигрирующих вверх и вниз по течению рыб. К данным сооружениям предъявляются особые рыбохозяйственные требования [Леман, Лошкарёва, 2009], принятые для условий Камчатки и Корякии.

Ещё одним также получившим широкое распространение на Камчатке вариантом осуществления инженерных мероприятий в руслах рек являются аварийно-спасательные работы, проводящиеся без проектных обоснований на основе тезиса о «чрезвычайной ситуации». Аварийные «спонтанные» мероприятия являются временной мерой. Рекомендации по стабилизации русла должны основываться на детальном ретроспективном русловом анализе исследуемого участка и поливариантном прогнозе развития русла на всём участке неустойчивого русла и в пределах аварийных участков. Неучёт всех факторов развития русла, динамики потока может полностью нивелировать эффекты от реализуемых, часто дорогостоящих мероприятий. Примером служат разрушения создаваемых в рамках таких мероприятий ряда простых гидротехнических сооружений: дамба 2013 года возле Елизовского водозабора, спрямляющий канал 2008 года возле пос. Северные Коряки и дамба 2007 года возле СХПК КамАгро (рис. 3.27). При этом обобщение опыта реализации инженерных мероприятий в русле р. Авачи позволяет выделить следующие основные принципы регулирования русел рек Камчатки:

- недопустимость проведения необоснованных мероприятий по расчистке русла и проток. Инженерные решения сопряжены с интенсификацией русловых деформаций на смежных участках реки и негативными последствиями для других хозяйственных объектов;

- необходимость детального обоснования берегоукрепительных работ. На реках предгорных территорий мощный слой легкоразмываемого материала, слагающего пойму, определяет необходимость заглубления береговых укреплений и струенаправляющих шпор до уровня ниже максимальной глубины плёсовых ложи (6–8 м ниже меженного уровня). В условиях крайне неустойчивого русла любые инженерные решения имеют ограниченный срок действия. Например, укрепление берега при сохранении остальной части берега в свободном состоянии со временем может привести к обходу потоком берегоукреплений;

- недопустимость забора грунта для строительства дамб и берегоукреплений из местного руслового материала, что быстро приводит к аварийному состоянию насыпи, поскольку возле неё происходит увеличение глубин русла и искусственное направление потока в её сторону. Кроме того, сложенные русловым аллювием насыпи хорошо фильтруют воду, что вызывает постепенный, а в случае прохождения экстремально высокого паводка — стремительный её размыв. Такая ситуация наблюдалась на р. Аваче весной 2007 г., где были зафиксированы местные сквозные размывы сооружённой в аварийном порядке насыпи, в том числе связанные с фильтрацией русловых вод.

4.5. Рекомендации по проведению руслового и экологического мониторинга

Важнейшую роль в обеспечении безопасной хозяйственной деятельности на реках Камчатки должен выполнять русловой и экологический мониторинг. В соответствии со ст. 39 Водного кодекса РФ [2008], при использовании водных объектов водопользователи обязаны осуществлять мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций на них, а также вести в установленном порядке регулярные наблюдения за водными объектами и водоохранными зонами. В программу мониторинга водных объектов входят наблюдения за состоянием дна и берегов водных объектов (ст. 30 Водного кодекса РФ).

В соответствии с Положением об осуществлении государственного мониторинга водных объектов [Об утверждении положения..., 2007] (далее — ГМВО) мониторинг состояния дна и берегов, а также состояния водоохранных зон водных объектов или их частей, находящихся в федеральной собственности и расположенных на территории субъекта РФ, организуется органами исполнительной власти субъектов РФ (ст. 14). Кроме того, в соответствии со ст. 16 того же Положения собственники водных объектов и водопользователи в порядке, установленном Министерством природных ресурсов РФ, должны проводить регулярные наблюдения за водными объектами (их морфологическими особенностями) и их водоохранными зонами, предоставляя полученные сведения и материалы таких наблюдений в территориальные органы Федерального агентства водных ресурсов.

Мониторинг должен играть важнейшую роль при обосновании мероприятий по берегозащите, трассировании переходов через реки, регулировании русел. На участках, представляющих наибольшую хозяйственную значимость и в то же время отличающихся опасными проявлениями русловых процессов, целесообразным представляется организовать сеть участков мониторинга с программой наблюдений за динамикой эрозионно-аккумулятивных процессов. На Камчатке мониторинг опасных процессов должен осуществляться на всех линейных переходах, расположенных на участках неустойчивых русел. К таким участкам относится среднее течение р. Авачи (от пос. Северные Коряки до Елизово), участки пересечения Камчатского МГ крупнейшей рек и др. Например, важнейшей составляющей мониторинга русловых процессов на участках перехода магистрального газопровода должны стать ежегодные наблюдения за формированием новых очагов заломов древесной растительности, как одного из ведущих и наименее точно прогнозируемых руслоформирующих факторов. Наблюдения целесообразно проводить путём организации специальных визуальных обследований с воздуха в период прохождения дна на спадах половодья и крупных дождевых паводков. Желательно выполнять фото- и видеосъёмку, по результатам которых должно осуществляться нанесение на ситуационный план новых и прорыв существующих очагов древесных заломов. По результатам подобных обследований должно приниматься решение о целесообразности более детального обследования конкретных участков русла и разработки мероприятий по предотвращению негативного развития русловых переформирований на участке перехода. В частности, визуальные обследования должны выполняться на всём 8-километровом участке разветвлённого русла Авачи выше по течению от створа перехода магистрального газопровода (рис. 4.6) и захватывать как основные рукава, так и второстепенные пойменные протоки. Желательно для более быстрой и адекватной оценки возможных последствий при формировании новых очагов заторов создать цифровую модель русла исследуемого участка, позволяющую осуществлять гидравлическое моделирование русловых деформаций при изменяющихся гидравлических условиях.



Рис. 4.6. Участки пойменно-руслового комплекса р. Авачи в районе перехода магистрального газопровода, требующие обязательной организации мониторинга русловых процессов

Собираемая в процессе мониторинга информация позволит своевременно предупреждать о негативных тенденциях в развитии русловых деформаций, проводя локальные инженерные превентивные мероприятия. Учёт закономерностей руслоформирующей деятельности самой реки и разработка на этой основе приёмов и методов регулирования русел (дноуглубления на водных путях сообщения, возведения дамб и полузапруд, защиты берегов от размыва и т. д.) позволяет оказывать направленное воздействие на усиление положительной роли естественных процессов и в наибольшей степени предотвращать возможные неблагоприятные последствия. Учёт русловых и гидрологических факторов развития русла рек Камчатки позволяет существенно повысить достоверность прогнозных оценок режима работы водозаборов, формирования качества добываемой воды и геоэкологического воздействия водоотбора [Маслов, 2004]. Для проведения инженерно-гидрологических исследований и расчётов для оценки запасов подземных вод используются соответствующие методические рекомендации и разработки [Методические..., 1991; Соколов, Саркисян, 1981]. Получаемая при этом гидрологическая информация станет основой для выработки рекомендаций по составу и эффективности русловых правительственных работ, направленных на улучшение перевода поверхностных вод в подземные водоносные горизонты и отработку геофильтрационной модели месторождения.

Русловой и экологический мониторинг должен играть ключевую роль в обеспечении устойчивого рыбного промысла. На участках интенсивного рыбного промысла он должен охватывать все участки промысла разных рыбодобывающих компаний с особым акцентом на места проводившихся ранее руслорегулирующих работ. Мониторинг русловых процессов должен включать промеры и съёмки русла, особенно в районе участков планируемых

и ранее выполненных дноуглубительных работ, измерение расходов воды по рукавам разветвлений, инвентаризацию объектов хозяйственной деятельности. На р. Озёрной (рис. 4.7) отсутствие объективных данных о факторах и причинах развития русла стало причиной острых конфликтов между водопользователями.

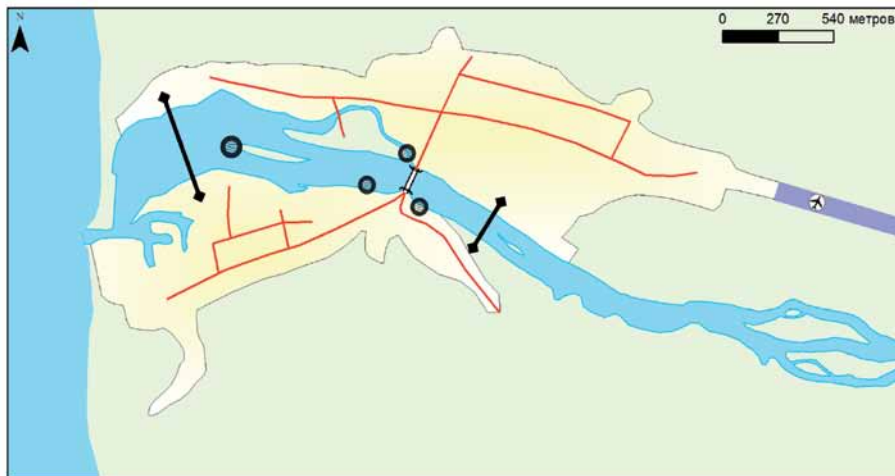


Рис. 4.7. Рекомендуемые участки ведения руслового мониторинга в условиях интенсивного речного рыбного промысла (р. Озёрная)

Целесообразно привлекать к процессу контроля и предупреждения негативных форм проявления русловых деформаций новые возможности в области дистанционного зондирования земли [Гладков и др., 2013]. В частности, реализация такого подхода реальна на базе действующих в крупнейших научных центрах России геопорталов, имеющих возможность оперативно получать актуальные изображения необходимых природных объектов со стационарных космических спутников, ведущих непрерывную съёмку земной поверхности. Это позволит контролировать не только происходящие русловые переформирования, но и получать представление о происходящих антропогенных изменениях в прибрежной зоне и на водосборах, которые могут привести к изменению условий формирования русел. Организация такой формы оперативного мониторинга русловых процессов может осуществляться в рамках научно-технического сотрудничества МГУ имени М.В. Ломоносова с уполномоченными органами контроля за состоянием объектов хозяйственной инфраструктуры, что обеспечит возможность осуществления дистанционного мониторинга и своевременную разработку краткосрочных прогнозов русловых деформаций, гарантирующих предотвращение негативных проявлений экзогенных процессов в районе перехода газопровода.

Заключение

Управление русловыми процессами предусматривает учёт их закономерностей для рационального использования рек и сохранения речных экосистем при одновременном устранении возможного неблагоприятного развития для хозяйственной деятельности в руслах рек и приречных территориях. Развитие хозяйственной деятельности в руслах рек требует детального изучения русловых процессов и прогнозирования русловых деформаций в целях обеспечения экологической безопасности и сохранения рек как важнейшего звена в цикле воспроизводства популяций тихоокеанского лосося. Настоящая книга представляет собой региональную комплексную оценку среды обитания (речных русел) и сообществ лососёвых рыб в условиях осуществления разных видов хозяйственной деятельности на Камчатке.

Впервые для Камчатки показаны основные закономерности стока воды и наносов, морфологии и динамики русел рек, а также обобщены основные сведения о лососёвых рыбах, нерестящихся в пресных водах Камчатки. Русловые процессы, определяющие фоновые условия (без техногенного воздействия) существования сообществ лососёвых рыб и обуславливающие риски для жизни и условий хозяйственной деятельности людей по берегам рек, характеризуются следующими региональными особенностями:

- в особых природных условиях Камчатского полуострова общие факторы русловых процессов (сток воды и наносов, геолого-геоморфологическое строение) приобретают определённую специфику; активное влияние на русла рек оказывают вулканизм, селевая активность, древесные заломы, нерест лососёвых рыб;

- совокупность общих и специфических факторов русловых процессов определяет существование 20 морфодинамических разновидностей русел, которые при создании карты русловых процессов были объединены в 11 основных типов (4 — на горных, 4 — на полугорных и 3 — на равнинных реках), отличающихся по режиму русловых деформаций. Максимальные переформирования характерны для равнинных меандрирующих рек, пойменных и русловых разветвлений полугорных рек. Наиболее устойчивыми являются горные прямолинейные русла;

- тесное соседство горных и равнинных районов обуславливает резкие изменения гидрологических и гидравлических характеристик потоков, что находит отражение в быстрой смене одних типов русел другими. В горных районах преобладают горные меандрирующие русла, значительна доля прямолинейных русел, в равнинных районах — полугорные и равнинные меандрирующие русла при значительной доле полугорных разветвлённых русел. Чёткая смена типов русел прослеживается по высотным зонам.

Теоретические и практические вопросы учёта русловых процессов и состояния лососёвых рыб при реализации хозяйственной деятельности, освещённые в книге, оценивались с точки зрения нормативно-правовой базы гидрометеорологических и экологических исследований при инженерной деятельности в долинах и руслах рек, действующей в Российской Федерации. Выполненный обзор для разных видов хозяйственной деятельности на реках Камчатки основан на опыте проведения комплексных русловых и экологических исследований авторов:

- при проектировании переходов линейных объектов (газопровод, автомобильные дороги) через реки;
- при организации защиты населённых пунктов от проявлений опасных русловых процессов;
- при эксплуатации прирусловых водозаборов подземных вод;
- при организации устойчивого речного рыбного промысла.

Опыт осуществления каждого из указанных видов хозяйственной деятельности на реках Камчатки проанализирован с точки зрения их распространения и типовых проблем эксплуатации. В условиях постепенно возрастающей техногенной нагрузки вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с негативными формами проявления русловых процессов, будет только увеличиваться. Для Камчатского края требуется разработка более жёстких законодательных актов, регламентирующих хозяйственную деятельность, включая частную застройку на приречных территориях с учётом региональных особенностей водного режима и руслоформирующей деятельности рек. Техническая сложность реализации проектов по минимизации опасных проявлений русловых процессов определяет тот факт, что отсутствие в ближайшей перспективе реальных угроз для посёлков либо размыв их участков, лишённых построек, делает оптимальным стратегию невмешательства в развитие русла. В современных условиях регулирование русла р. Авачи в районе пос. Северные Коряки и р. Паланы в районе пгт Палана является экономически и технически неоправданным.

Основные выводы книги интегрированы в заключительном разделе и сведены к следующим практическим вопросам:

- учёт опасных и фоновых условий русловых процессов при организации хозяйственной деятельности и оценке состояния сообществ водных организмов;
- практические рекомендации организации хозяйственной деятельности в руслах рек;
- рекомендации по проведению руслового и экологического мониторинга.

Одним из ключевых вопросов в управлении хозяйственной деятельности в руслах рек является определение фоновых условий развития русла. Во многом это связано с наличием аномальных проявлений русловых переформирований, характерных для рек Камчатки. Большие уклоны территории и значительная водоненосность многих камчатских рек отражается в интенсивных горизонтальных деформациях, приводящих к размывам дорог, обрушениям мостовых переходов и строений по берегам рек. Установленные формы опасных проявлений русловых процессов и соответствующие рекомендации для их предотвращения необходимо учитывать при организации любой хозяйственной деятельности в долинах рек и обеспечения экономического благополучия региона. К ним, в первую очередь, относится экстремальная интенсивность блуждания разветвлённых полугорных рек. Сложившаяся в начале XXI в. ситуация в среднем течении р. Авачи показывает, как на первый взгляд непредсказуемо может происходить перестройка русловой сети реки в условиях свободного развития русловых деформаций, высокой кинетичности водного потока и влияния стихийно формирующихся древесных заломов. В результате находящиеся в безопасности на протяжении десятилетий приречные территории в течение нескольких лет оказались в зоне активных русловых переформирований, создав очаг социальной напряжённости, требующий незамедлительного разрешения.

Учёт фоновых характеристик русловых процессов при проведении инженерных изысканий и экологическом мониторинге на Камчатке определяет адекватное взаимодействие природоохранных организаций и водопользователей, а также служит залогом организации безопасной хозяйственной деятельности в долинах рек. Отсутствие соответствующих знаний о природе процесса приводит к впечатлению о стихийно-разрушительных его проявлениях, создавая угрозу инженерным сооружениям на берегах и руслах рек и определяя необходимость борьбы с ними, что требует больших капиталовложений (такова борьба с заносимостью водозаборов и подмывом опор мостов, возведённых правильно с инженерной точки зрения, но без должного учёта русловых процессов).

Интегральной оценкой фоновых условий развития русловых деформаций служит региональная шкала опасности русловых процессов. Она позволяет определить потенциальную благоприятность использования участков рек тех или иных морфодинамических типов русел для хозяйственной деятельности. Одновременно она требует оценки режима русловых деформаций на всех структурных уровнях проявлений русловых процессов (река в целом с её поймой; морфологически однородные участки; формы русла — излучины, разветвления, относительно прямолинейные русла; крупные формы руслового рельефа — перекаты, побочни, ленточные гряды) в зависимости от местных особенностей сочетания определяющих их факторов и условий, в том числе при различных видах антропогенных воздействий на реки и их водосборы. Для проведения этой работы должны использоваться как имеющиеся региональные научно-технические наработки, обобщённые в данной книге, так и действующая в Российской Федерации нормативно-правовая база гидрометеорологических исследований при инженерной деятельности в долинах и руслах рек. Учёт закономерностей руслоформирующей деятельности самой реки и разработка на этой основе приёмов и методов регулирования русел (дноуглубления на водных путях сообщения, возведения дамб и полузапруд, защиты берегов от размыва и т. д.) позволяют оказывать направленное воздействие на усиление положительной роли естественных процессов и в наибольшей степени предотвращать возможные неблагоприятные последствия.

Фоновые условия русловых процессов, а также характеристики водного и температурного режима и химического состава речных вод определяют совокупность лимитирующих абиотических факторов среды для развития сообществ лососёвых рыб. С экологической точки зрения фоновые условия соответствуют отсутствию техногенных изменений указанных факторов среды. Их определение должно проводиться дифференцированно для разных рек на основе оценки характера русловых процессов и гидрохимических и гидрологических характеристик. При этом для Камчатки в естественных природных условиях характерны аномальные значения всех указанных процессов, связанные с воздействием вулканических проявлений и выражающиеся в явлениях пересыхания, повышенных значениях мутности (вплоть до формирования гиперконцентрированных потоков) и температуры воды, неустойчивостью русел и форм донного рельефа, а также повышенным содержанием токсикантов и сложным ионным составом воды. В условиях экстремального проявления хотя бы одного из факторов наблюдается исчезновение или выраженная деградация фауны. В прочих случаях при различном сочетании неблагоприятных факторов происходит в большей или меньшей степени выраженная трансформация сообществ в сторону снижения их разнообразия и обилия. Предложенный на основе региональных обобщений экологический подход к определению фоновых условий среды заключается в выделении трёх фоновых (техногенно неизменных) групп рек: (I) обычные (без аномальных проявлений среды); (II) с аномальными проявлениями среды; (III) вулканические (преобразованные) реки. При отнесении водотока к группе I оценка техногенного воздействия должна осуществляться согласно действующей в Российской Федерации нормативно-правовой базе по охране окружающей среды. При этом, учитывая восприимчивость лососёвых рыб к техногенным воздействиям, возможна разработка более жёстких региональных законодательных актов, регламентирующих предельно допустимое воздействие. Для рек групп II и III общие принципы оценки техногенного воздействия неприменимы, и для них требуется региональный подход к определению фоновых условий, основанный на данных ведения регионального мониторинга водных объектов, учёте местных природных условий формирования качества речных вод и структуры сообществ водных организмов.

В заключительном разделе книги обсуждаются вопросы организации регионального мониторинга русловых процессов. В последнее время много говорится об организации эффективной системы мониторинга опасных природных процессов, одновременно неоднократно указывалось на фактические проблемы [Алексеевский и др., 2011], особенно связанные с нормативно-методическими сложностями организации мониторинга состояния дна и берегов водных объектов [Гладков и др., 2013]. На Камчатке на сети Росгидромета режимные наблюдения за стоком донных (руслоформирующих) наносов полностью прекращены, и таким образом в настоящее время отсутствуют какие-либо регулярные исследования русловых процессов и факторов руслоформирования. В условиях активного хозяйственного освоения территории такая ситуация противоречит потребностям сбора исходных данных для проектирования инженерных сооружений в руслах рек. В то же время проведение регулярного руслового мониторинга является инструментом предупреждения экстремальных переформирований русла и их негативных последствий. Поэтому в книге предложены варианты организации сети мониторинга с программой наблюдений за динамикой эрозионно-аккумулятивных процессов. Получаемая в процессе мониторинга информация позволит своевременно предупреждать о негативных тенденциях в развитии русловых деформаций, проводя локальные превентивные мероприятия. Для таких регионов, как Камчатка, к процессу контроля и предупреждения негативных форм проявления русловых деформаций целесообразно привлекать возможности дистанционного зондирования земли.

Авторы надеются, что эта междисциплинарная книга будет интересна специалистам, работающим не только на Камчатке. Верим, что предложенные рекомендации, основанные на анализе большого числа объектов хозяйственной деятельности, будут услышаны представителями органов муниципальной власти Камчатки.

Литература

- Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А.Г.* Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории // География, общество и окружающая среда. Т. VI. Динамика и взаимодействия атмосферы и гидросферы. М.: Городец, 2004. С. 345–412.
- Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Христофоров А.В.* Мониторинг гидрологических процессов и повышение безопасности водопользования. М., 2011. 408 с.
- Алексеевский Н.И., Чалов С.Р.* Гидрологические функции разветвлённого русла. М., 2009. 240 с.
- Алтунин С.Т.* Регулирование русел. М.: Сельхозиздат, 1962.
- Андреев О.В.* Проектирование мостовых переходов. М.: Транспорт, 1980. 215 с.
- Апрелков С.Е.* О древнем извержении Авачинского вулкана и изменении русла Авачинского вулкана // Вопросы географии Камчатки. 1964. Вып. 2. С. 108–109.
- Асарин А.Е., Бестужева К.Н., Христофоров А.В., Чалов С.Р.* Водохозяйственные расчёты. М., 2012. 140 с.
- Баготский С.В., Санин М.В., Эйнон Л.О.* Некоторые подходы к экологически обоснованному нормированию загрязняющих веществ в водоёмах // Водные ресурсы. 1992. № 6. С. 101–106.
- Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Экологическое русловедение. М.: Геос, 2000. 332 с.
- Богатов В.В.* Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1994. 210 с.
- Боревский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С.* Оценка запасов подземных вод. Киев: Вища школа, 1989. 407 с.
- Бугаев А.В., Шевляков Е.А.* Флюктуации численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* западного и восточного побережий Камчатки на рубеже XX и XXI веков. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2008. 12 с.
- Бугаев В.Ф., Дубынин В.А.* Факторы, влияющие на биологические показатели и динамику численности нерки *Oncorhynchus nerka* рек Озерная и Камчатка // Изв. ТИПРО-центра. 2002. Т. 130. Ч. II. С. 679–757.
- Васьковский М.Г.* Годовой сток рек Камчатки // Труды ДВ НИГМИ. 1959. Вып. 8. С. 5–31.
- Васьковский М.Г.* Типизация рек Камчатки и некоторые вопросы изучения их стока // Труды ДВ НИГМИ. 1960. Вып. 11. С. 130–153.
- Введенская Т.Л., Коваль О.О., Логачёв А.Р., Улатов А.В.* Оценка воздействия хозяйственной деятельности на водные биоресурсы и эколого-рыбохозяйственные исследования // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 2012. Вып. 25. С. 208–218.
- Введенская Т.Л., Травина Т.Н.* Роль снёнки в трофической цепи лососёвых рек Камчатки (западное побережье, река Большая) // Современное сост. водн. биоресурсов: Матер. науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИПРО-центр, 2008. С. 342–343.
- Виноградов Ю.Б.* О селевых явлениях на Камчатке // Труды КазНИГМИ. 1969. Вып. 33. С. 139–143.
- Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Перов В.Ф.* Особенности русловых процессов р. Баксана в условиях активной селевой деятельности // Эрозия почв и русловые процессы. 2005. Вып. 15. С. 126–148.

Власов Г.М., Чемяков Ю.Ф. Основные этапы формирования рельефа полуострова Камчатки в четвертичный период и его геоморфологическое районирование // Изв. ВГО. 1950. Т. 82. Вып. 3. С. 262–272.

Волкова В.М. Повышение эффективности дренажных разработок глинистых россыпей путём реагентной обработки полигонов и совершенствования схем водоснабжения: Автореф. дис ... канд. тех. наук. М.: МГРИ, 1987. 20 с.

Воробьёвский И., Дроздин В., Фролова Н., Чижова В. Гидрологические и рекреационные последствия катастрофического селя в Долине гейзеров // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2010. № 2. С. 46–52.

Выполнение инженерных изысканий и разработка проектных предложений по предотвращению неблагоприятного воздействия русловых процессов на р. Аваче в районе с. Северные Коряки. Технический отчёт по этапу 2 (заключительный). ООО «РИТРОН», 2013.

Галасун П.Т., Булатович М.А. Влияние взвешенных частиц на инкубацию икры и выращивание свободных эмбрионов радужной форели // Сб. «Рыбное хозяйство». 1976. № 23. С. 20–24.

География обвражной эрозии / М. Веретенникова, Е. Зорина, С. Ковалёв и др. М.: Изд-во МГУ, 2006. С. 24.

Геология СССР. Т. 31. Ч. 1: Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 733 с.

Гидрологические и водно-балансовые расчёты / Под ред. Н.Г. Галушенко. Киев: Вища школа, 1987. 248 с.

Гирзидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): Учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: изд-во СПб. ГПУ, 2003. 545 с.

Гладков Г.Л., Католиков В.М., Чалов Р.С. Задачи изучения и проблемы организации мониторинга русловых процессов // VII Всероссийский Гидрологический съезд. Тезисы пленарных докладов. СПб., 2013. С. 85–95.

Гриценко О.Ф. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел). М.: Изд-во ВНИРО, 2002. 247 с.

Дмитриев В.Д., Казанцева Е.И. Магистральный газопровод и состояние его рекультивации со стороны Петропавловска-Камчатского // О Камчатке: её пределах и состоянии / Материалы XXIX Крашенинниковских чтений. Петропавловск-Камчатский, 2012. С. 88–90.

Евдотьев Ю.А. Условия формирования и общая характеристика половодья рек Камчатки // Сб. работ Петропавловской ГМО. 1971. Вып. 1. С. 16–23.

Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчёты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 205 с.

Ермакова А.С. Водный режим как фактор русловых процессов на реках Камчатки // Общие, экологические и инженерные аспекты изучения гидрологических, русловых и эрозионных процессов. М.: Изд-во МГУ, 2008а. С. 74–80.

Ермакова А.С. Продольные профили, вертикальные русловые деформации и их связь с типами русел на реках Камчатки // Геоморфология. 2008б. № 4. С. 65–75.

Ермакова А. С. Опасные проявления развития русловых процессов на реках Камчатки и их учёт в различных сферах хозяйственной деятельности // Чтения памяти академика К. В. Семакова. СВНЦ ДВО РАН. Магадан, 2009а. С. 196–197.

Ермакова А.С. Русловые процессы на реках Камчатки: Автореф. дисс. на соискание учёной степени канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 2009б. 24 с.

Ермакова А.С., Есин Е.В., Чалов С.Р. Разнообразие условий среды обитания и структуры сообществ молоди рыб в водотоках бассейна р. Большой. Предварительные выводы // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский, 2005. Вып. 6. С. 56–60.

Ермакова А.С., Чалов С.Р. Русловые процессы на реках бассейна р. Большой (Западная Камчатка) // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2007. № 6. С. 64–71.

Есин Е.В. Специфика размножения горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в вулканических реках центральной части Кроноцкого залива // Сб. трудов Кроноцкого заповедника. 2012. Вып. II. 10. С. 208–217.

Есин Е.В., Сорokin Ю.В. Жилая кунджа *Salvelinus leucomaenis* из термального ручья, впадающего в Семлячичский лиман (Кроноцкий заповедник, Камчатка) // Вопр. ихтиологии. 2011. Т. 52. № 2. С. 207–214.

Есин Е.В., Чалов С.Р. Формирование заломов древесной растительности в реках Камчатки и их роль в распределении молоди рыб // Экология. 2011. № 1. С. 49–56.

Есин Е.В., Чебанова В.В., Леман В.Н. Экосистема малой лососёвой реки Западной Камчатки (среда обитания, донное население и ихтиофауна). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2009. 176 с.

Живоглядов А.А. Структура и механизмы функционирования сообществ рыб малых нерестовых рек острова Сахалин. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 128 с.

Золотухин С.Ф. Потери органического вещества анадромных рыб экосистемами реки Усури в XX веке // Чтения памяти В. Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2001. Вып. 1. С. 17–21.

Зюсько А.Я., Матвеев А.А. Состояние ихтиоценозов рек в зонах горных работ // Тезисы докладов V съезда Всес. гидробиол. о-ва. Тольятти, 1986. № 2. С. 60–62.

Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Бреховских В.Ф. Зарастающие водотоки и водоёмы — динамические процессы формирования донных отложений. М.: Наука, 2004. 310 с.

Камалова Е.В. О механизме переработки речных берегов // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1988. № 3. С. 94–100.

Карта современных вертикальных движений земной коры полуострова Камчатка // Под ред. Ю.И. Никитинко. ГУГК при СМ СССР. Хабаровск. 1983.

Кириллова Е.А. Некоторые особенности биологии молоди кижуча *Oncorhynchus kisutch* первого года жизни в реках Утхолок и Калкавеем (Северо-Западная Камчатка) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2008. Вып. 4. С. 292–301.

Кольцов Д.В. Средообразующая деятельность проходных рыб в период нереста (на примере ихтиоцены р. Даги, Северо-Восточный Сахалин) // Вопр. ихтиологии. 1995. Т. 15. № 1. С. 68–75.

Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.

Коренева И.Б., Христофоров А.В. Об оценке минимального экологически достаточного стока воды в реках // Вестник МГУ. Сер. 5. География. № 1. 1993. С. 77–83.

Краевая Т.С. Сухие реки районов Ключевской и Авачинской групп вулканов // Вопросы географии Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1964. Вып. 2. С. 56–62.

Краевая Т.С. Краткая характеристика селеопасных районов Камчатки // Труды КазНИГМИ. 1969. Вып. 33. С. 144–150.

Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. 1755 г. / В изложении по подлиннику и под ред. Н.В. Думитрашко и Л.Г. Каманина. М.: Географгиз, 1948. 292 с.

Кузицин К.В., Груздева М.А., Стэнфорд Д.А., Моррис М.Р. Особенности процессов рассеивания и деструкции трупов тихоокеанских лососей в речной системе. К вопросу о значении биогеоноса морского происхождения для функционирования экосистем лососёвых рек Камчатки // Сохр. биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. 2012. Вып. 13. С. 136–140.

Кузнецов К.Л., Чалов Р.С. Русловые процессы и морфология русел горных рек в условиях активной селевой деятельности (на примере рек северного склона Заилийского Алатау) // Геоморфология. 1988. № 2. С. 71–78.

Кузьмич В.Н. О проблемах разработки нормативов допустимого воздействия на водные объекты // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2009. № 3. С. 95–105.

Куксина Л.В. Сток взвешенных наносов рек камчатского края: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 2014. 24 с.

Куксина Л.В., Чалов С.Р. Сток взвешенных наносов рек территорий современного вулканизма Камчатки // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 103–110.

Куренков И.И. Воздействие вулканизма на речную фауну // Природа. 1957. № 12. С. 49–54.

Леванидов В.Я. Экосистемы лососёвых рек Дальнего Востока // Беспозвоночные животные в экосистемах лососёвых рек Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 3–21.

Леман В.Н. Экологическая типизация нерестилищ тихоокеанских лососей на Камчатке: Дисс. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО, 1990. 132 с.

Леман В.Н. Экологическая и видовая специфика нерестилищ тихоокеанских лососей р. Oncochynchus на Камчатке // Чтения памяти В. Я. Леванидова. 2003. Вып. 2. С. 12–34.

Леман В.Н., Лошкарёва А.А. Справочное пособие по природоохранным и мелиоративным мероприятиям при производстве строительных и иных работ в бассейнах лососёвых нерестовых рек Камчатки. М.: Тов. научн. изданий КМК, 2009. 192 с.

Леман В.Н., Чалов С.Р. Предварительные данные по обоснованию норматива допустимого воздействия разработок россыпных месторождений в бассейнах лососёвых нерестовых рек Дальнего Востока (на примере россыпного месторождения платины в бассейне р. Вывенка, Корякия) // Чтения памяти академика К.В. Семакова. СВНЦ ДВО РАН. Магадан, 2009. С. 246–247.

Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: АКЦ «Академкнига», 2002. 255 с.

Лихатович Д. Лосось без рек. История кризиса тихоокеанских лососей. Владивосток, 2004. 376 с.

Лобков Е.Г. Птицы в экосистемах лососёвых водоёмов Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2008. 96 с.

Львович М.И. Вода и жизнь. М.: Мысль, 1989. 254 с.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1955. 343 с.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.

Малик Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.

Маслов А.А. Влияние сезонной изменчивости поверхностного и подземного стока на формирование эксплуатационных запасов подземных вод приречных месторождений: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.07. М., 2004.

Материалы к разработке плана мероприятий по смягчению воздействия на лососёвых рыб и среду их обитания и паспортизация водных переходов. Научно-технический отчёт ФГУП «КамчатНИРО», ФГУ «Севострыбвод», Проект Развития ООН. Фонды КамчатНИРО. 2004. В 2 т. 261 с.

Махинов А.Н., Махинова А.Ф., Шевцов М.Н. Влияние горнообогатительных предприятий Хабаровского края на окружающую среду // Горный журнал. 2006. № 4. С. 83–86.

Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д., Базанова Л.И. и др. Катастрофические голоценовые лахары Авачинского и Корякского вулканов на Камчатке // Вулканология и сейсмология. М.: РАН, 1995. С. 172–181.

Оценка последствий негативного воздействия на окружающую среду (на территории государственного природного лососевого заказника «Река Коль») строительства магистрального газопровода «УКПГ-2 Нижнекамчатского ГКМ — АГРС г. Петропавловска-Камчатского» за период 2000–2010 гг. и разработка рекомендаций по снижению негативных воздействий / Отчёт о НИР. ФГУП «КамчатНИРО». 2013.

Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузицин К.В., Груздева М.А., Стенфорд Д.А. Состояние и мониторинг биоразнообразия лососёвых рыб и среды их обитания на Камчатке (на примере территории заказника «Река Коль»). М.: Т-во науч. изданий КМК, 2009. 152 с.

Программа капремонта магистрального газопровода «УКПГ Нижне-Квакчического ГКМ — АГРС г. Петропавловска-Камчатского» на участках пересечений с реками (Камчатского ЛПУ ООО «Газпром трансгаз Томск») на 2013–2015 гг. 2012. 5 с.

Проектирование судовых ходов на свободных реках / Под ред. Н.И. Маккавеева. М.: Транспорт, 1964. 264 с.

Расчистка и спрямление русла р. Паланы в границах пгт Палана. Проект. Т. 1. Общая пояснительная записка. Владивосток: ДальНИИВХ, 2007. 24 с.

Региональная концепция сокращения незаконной добычи лососёвых рыб в Камчатском крае. Проект Программы развития ООН/ГЭФ «Сохранение биоразнообразия лососёвых Камчатки и их устойчивое использование». М.: ВНИРО, 2010.

Реконструкция Авачинского водозабора пресных подземных вод, г. Елизово, Елизовского муниципального района. I очередь. Кн. 1 (Общая часть), Кн. 3 (Проект реконструкции водозабора). ООО «АКВА». Елизово, 2007.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 20: Камчатка. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 368 с.

Росинский К.И., Дебольский В.К. Речные наносы. М.: Наука, 1980. 261 с.

Русанов В.В., Зюсько А.Я., Ольшванг В.Н. Состояние отдельных компонентов водных биоценозов при разработке россыпных месторождений дражным способом. Свердловск: УРО АН СССР, 1990. 123 с.

Рыбак Камчатки // Вып. № 17 (01.05.2007), № 30 (21.07.2010)а, № 31 (28.07.2010)б, № 43 (26.11.2011).

Селеопасные районы СССР / Под ред. С.М. Флейшмана, В.Ф. Перова. М.: Изд-во МГУ, 1976. 308 с.

Семенченко А.Ю. Фауна и структура рыбных сообществ в ритрале рек Приморья // Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2001. Вып. 1. С. 217–228.

Семко Р.С. Камчатская горбуша // Изв. ТИНРО. 1939. Т. 16. С. 1–134.

Семко Р.С. Запасы западнокамчатских лососей и их промышленное использование // Изв. ТИНРО. 1954. Т. 41. С. 3–109.

Смирнов А.И. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей. М.: Изд-во МГУ, 1975. 335 с.

Соколов Б.Л., Саркисян В.О. Подземное питание горных рек (методы количественной оценки). Л.: Гидрометеиздат, 1981. 240 с.

Стеллер Г.В. Описание земли Камчатки, 1774 г. / Г. В. Стеллер. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2011. 571 с.

Стратегия развития и использования минерально-сырьевой базы камчатского края на период до 2025 года. Правительство Камчатского края, Министерство экономического развития Камчатского края (Рабочие материалы к проекту), 2008. 108 с.

Токранов А.М. Публикации КамчатНИРО 1932–2001 гг. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2002. 460 с.

Токранов А.М. Ихтиологические и рыбохозяйственные исследования в прибрежных водах и внутренних водоёмах Камчатки в XVIII–XX веках: Аннотированный библиографический указатель. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2004. 740 с.

Улатов А.В., Леман В.Н., Логачёв А.Р. Магистральный газопровод и ресурсы лососей: типичные экологические проблемы // Материалы меж. конф. «Природоохранная деятельность предприятий газовой промышленности» 20–24 декабря 2010 г. ООО «Газпром трансгаз Томск». Томск, 2010. С. 193–231.

Фацевский Б.В. Основы экологической гидрологии. Минск: Изд-во ЭКОИНВЕСТ, 1996. 240 с.

Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.

Чалов Р.С. Русловые исследования М.: Изд-во МГУ, 1995. 106 с.

Чалов Р.С. Общее и географическое русловедение. М.: Изд-во МГУ, 1997. 111 с.

Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.

Чалов С.Р. Гидрологические функции разветвленных русел: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 2007. 24 с.

Чалов С.Р. Биологический фактор русловых процессов на реках Дальнего Востока // Двадцать третье пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Калуга, 2008. С. 213–215.

Чалов С.Р. Речные наносы в формировании биоценозов лососёвых рек // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 5. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 571–579.

Чалов С.Р., Ермакова А.С., Есин Е.В. Речные заломы: экологическая и руслоформирующая роль // Вестник МГУ. Серия 5. География. 2010а. № 6. С. 25–31.

Чалов С.Р., Ермакова Г.С., Завадский А.С., Самохин М.А. Реки лахаровых долин Камчатки // Сохр. биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. 2010б. Вып. XI. С. 73–77.

Чалов С.Р., Есин Е.В. Сообщества лососёвых рыб пересыхающих водотоков (на примере р. Китхажинец, западная Камчатка). Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей / Материалы VII науч. конф. Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 169–171.

Чалов С.Р., Есин Е.В. Экологическая классификация рек вулканических территорий полуострова Камчатка // География и природные ресурсы. 2014а.

Чалов С.Р., Есин Е.В., Айзель Г.В. Гидрологические факторы формирования ихтиофауны рек вулканических территорий (на примере рек Семлячинского района, Камчатка) // Водные ресурсы. 2014б. Т. 41. № 2. С. 1–11.

Чеботарёв Г.Н., Моисеенко Т.И., Бородач М.В., Гладун Е.Ф., Кремлёва Т.А. Обоснование региональных нормативов качества вод и правовые механизмы их установления на уровне субъектов Российской Федерации // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 12. С. 227–237.

Шарпанов Н.М. О концепции разработки региональных нормативов допустимых воздействий на природные водные объекты // Вестник Читинского государственного университета (Вестник ЧитГУ) № 7 (64). Чита: ЧитГУ, 2010. С. 114–120.

Штенгелов Р.С. Формирование и оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод. М.: Недра, 1988.

Allan G.D. Macroinvertebrate drift in a rocky mountain stream // Hydrobiologia. 1987. Vol. 144. № 3. P. 261–268.

Arnold F.D., Angle J.S. Relative source contributions of sediment in a surface coal mined basin of Maryland // Journal of Soil and Water Conservation. 1989. Vol. 44, № 6. P. 609–612.

Barnes J.R., Minshall G.W., Plenum N.Y. Stream ecology: Application and testing of general ecological theory. N.-Y., L.: Plenum Press, 1983. 399 p.

Bartley R., Ollet J., Henderson A. A sediment budget for the Herbert River catchment, North Queensland, Australia // Sediment transfer through the fluvial system. Proceeding of the international symposium held at Moscow. IAHS Press, 2004.

Bash J., Berman C., Bolton S. Effects of turbidity and suspended solids on salmonids. TRAC, Univ. of Washington, Seattle, Washington, 2011. 92 p. <http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/526.1.pdf>.

Ben-David M., Hanley T.A., Schell D.M. Fertilization of terrestrial vegetation by spawning pacific salmon: the role of flooding and predator activity // Oikos 1998. Vol. 83. P. 47–55.

Ben-David M., Titus K., LaVern R. B. Consumption of salmon by Alaskan brown bears: a trade-off between nutritional requirements and the risk of infanticide? // Oecologia. 2004. Vol. 138. № 3. P. 465–474.

Berg L. Northcote T.G. Changes in territorial, gill-flaring, and feeding behaviour in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) following short-term pulses of suspended sediment // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1985. Vol. 42. P. 1410–1417.

Bilby R.E., Fransen B.R., Bisson P.A. Incorporation of nitrogen and carbon from spawning coho salmon into the trophic system of small streams: evidence from stable isotopes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1996. Vol. 53. № 1. P. 164–173.

Bilby R.E., Fransen B.R., Bisson P.A., Walter J.K. Response of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) to the addition of salmon carcasses to two streams in southwestern Washington, U.S.A. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 1909–1918. 1998.

Bisson P.A., Bilby R.E. Avoidance of suspended sediment by juvenile coho salmon // N. Amer. J. Fish. Manag. 1982. Vol. 4. P. 371–374.

Bisson P.A., Sullivan K., Nielsen J.L. Channel hydraulics, habitat use, and body form of juvenile Coho Salmon, Steelhead, and Cutthroat Trout in streams // T. Am. Fish. Soc. 1988. Vol. 117. P. 262–273.

Boulton A.J., Findlay S., Marmonier P., Stanley E.H., Valett H.M. The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers // Annu. Rev. Ecol. Syst. 1998. Vol. 29. P. 59–81.

Bradford M.J. An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in sidechannels during rapid flow decreases // Regulated Rivers: Research and Management. 1997. Vol. 13. P. 395–401.

Bunn S.E., Arthington A.H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity // Environmental Management. 2002. Vol. 30. P. 492–507.

Carol D.W., Naden P.S., Cooper D.M., Gannon B. A regional procedure to assess the risk to fish from sediment pollution in rivers // IAHS Publ., 2002. Vol. 272. P. 401–407. https://itia.ntua.gr/hsj/redbooks/272/hysj_272_401.pdf.

Carson M.A., Kirkby M.J. Hillslope form and process. London: Cambridge Univ. Press. 1972. 475 p.

Carvalho D.F., Pires M. Fish distribution and abundance in Mediterranean streams: the role of habitat quality, spatial context, and movement patterns. Portugal, Univ. de Lisboa, 2012. 201 p.

Cederholm C.J., Kunze M.D., Murota T., Sibatani A. Pacific salmon carcasses: essential contribution of nutrients and energy for aquatic and terrestrial ecosystems // Fisheries. 1999. Vol. 24. № 10. P. 6–15.

Chaloner D.T., Lamberti G.A., Merritt R.W., Mitchell N.L., Ostrom P.H., Wipfli M.S. Variation in responses to spawning Pacific salmon among three south-eastern Alaska streams // *Freshwat. Biol.* 2004. Vol. 49. № 5. P. 587–599.

Chaloner D.T., Wipfli M.S. Influence of decomposing pacific salmon carcasses on macro-invertebrate growth and standing stock in southeastern Alaska streams // *J. N. Amer. Benth. Soc.* 2002. Vol. 21 P. 430–442.

Chalov S.R. Effects of placer mining on suspended sediment budget (case study of North of Russia's Kamchatka peninsula) // *Hydrological Sciences Journal.* 2014.

Chapman D.W. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids // *Trans. Am. Fish. Soc.* 1988. Vol. 117. № 1. P. 1–21.

Chaston I. Seasonal activity and feeding patterns of brown trout (*Salvelinus trutta*) in a Dartmoor stream in relation to availability of food // *J. Fish. Res. Bd. Can.* 1969. Vol. 26. № 8. P. 2165–2171.

Chiasson A.G. The effects of suspended sediment on rainbow smelt (*Osmerus mordax*): a laboratory investigation // *Can. J. Zool.* 1993. Vol. 71. P. 2419–2424.

Church M., Ham D., Weatherly H. Gravel management in the lower Fraser River // Report for the City of Chilliwack. Department of Geography. The University of British Columbia publ., 2001. 110 p.

Coble D.W. Influence of water exchange and dissolved oxygen in redds on survival of steelhead trout embryos // *Trans. Am. Fish. Soc.* 1966. Vol. 90. № 4. P. 469–474.

Cooper A.C. The effect of transported stream sediment on the survival of sockeye and pink salmon eggs and alevin. International Pacific Salmon Fisheries Commission, 1965. Bulletin XVIII. New Westminster, B. C. 71 p. <http://www.psc.org/pubs/IPSFbulletinXVIII.pdf>.

Cummins K.W., Wilzbach M.A., Gates D.M., Perry J.B., Taliaferro W.B. Shredders and riparian vegetation // *Bioscience.* 1989. Vol. 39. № 1. P. 24–30.

Cunjak R.A. Winter habitat of selected stream fishes and potential impacts from land use activity // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1996. Vol. 53. № 1. P. 267–282.

Daniel J.R., Wipfli M.S., Stricker C.A., Heintz R.A., Rinella M. J. Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) runs and consumer fitness: growth and energy storage in stream-dwelling salmonids increase with salmon spawner density // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2012. Vol. 69. P. 73–84. <http://www.fort.usgs.gov/Products/Publications/23327/23327.pdf>.

Datry T. Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a flow intermittence gradient: Effects of duration of dry events // *Freshwater Biology.* 2012. Vol. 57. № 3. P. 563–574.

Davey A.J.H., Kelly D.J. Fish community responses to drying disturbances in an intermittent stream: A landscape perspective // *Freshwater Biology.* 2007. V. 52. № 9. P. 1719–1733. <http://www.aseanbiodiversity.info/Abstract/51008966.pdf>.

Davey A.J.H., Kelly D.J., Biggs B. J. F. Refuge-use strategies of stream fishes in response to extreme low flows // *J. Fish. Biol.* 2006. Vol. 69. № 4. P. 1047–1059.

DelRosario R.B., Resh V.H. Invertebrates in intermittent and perennial streams: is the hyporheic zone a refuge from drying? // *J. North Amer. Benthol. Soc.* 2000. Vol. 19. № 4. P. 680–696.

Ebel W.J. Review of effects of environmental degradation on the freshwater stages of anadromous fish / In: *Habitat Modification and Freshwater Fisheries*, ed. By J.S. Alabaster. 1985. P. 62–79.

Elshout P.M.F., Pires L.M.D., Lueven R. S. E., Bonga S. T. W., Hendriks A. J. Low oxygen tolerance of different life stages of temperature freshwater fish species // *J. Fish. Biol.* 2013. Vol. 83. P. 190–206.

Everest F.H., Beschta R.L., Scrivener J.C., Koski K.V., Sedell J.R., Cederholm. C.J. Fine sediment and salmonid production: a paradox. / In: *Streamside Management: Forestry and Fishery Interactions* E.O. Salo and T.W. Cundy [ed.]. University of Washington Institute of Forest Resources, Seattle, Washington, 1987. P. 98–142.

Friesen T.A., Ward D.L. Status and condition of fish assemblages in streams of the Tualatin River basin, Oregon // *NorthWest Sci.* 1996. Vol. 70. № 2. P. 120–131.

Fujiwara M., Highsmith R.C. Harpacticoid copepods: potential link between inbound adult salmon and outbound juvenile salmon // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1997. Vol. 158. P. 205–216. <http://www.int-res.com/articles/meps/158/m158p205.pdf>.

Gende S.M., Edwards R.T., Willson M.F., Wipfli M.S. Pacific salmon in aquatic and terrestrial ecosystems // *BioScience.* 2002. Vol. 52. № 10. P. 917–928.

Giannico G.R., Hinch S.G. The effect of wood and temperature on juvenile Coho salmon winter movement, growth, density and survival in side-channels // *River Res. Appl.* 2003. Vol. 19. P. 219–231.

Gibbins C.N., Soulsby C., Jeffries M.J., Acornley R. Developing ecologically acceptable river flow regimes: A case study of kielder reservoir and the kielder water transfer system // *Fisheries Management and Ecology.* 2001. Vol. 8. № 6. P. 463–485.

Goto A., Nakano S. Distribution and ecology of fresh water fishes of Hokkaido // *Biodiversity and Ecology in the Northernmost of Japan.* Univ. Press., Sapporo, Hokkaido. 1993. P. 114–126.

Gregory R.S., Northcote T. G. Surface, planktonic, and benthic foraging by juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in turbid laboratory conditions // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993. Vol. 50. P. 233–240.

Griffin L.E. Experiment on the tolerance of young trout and salmon for suspended sediment in water // *Bull. Ore. Dep. Geol.* 1938. Vol. 10. App. B. P. 28–31.

Hancock G.R., Grabham M.K., Martin P., Evans K.G., Bollhoefer A. Methodology for the assessment of rehabilitation success of post mining landscapes; sediment and radionuclide transport at the former Nabarlek uranium mine, Northern Territory, Australia // [Sci. Total Environ.]. 1 Feb. 2006. Vol. 354. № 2–3. P. 103–119.

Hartman G.F., Scrivener J.C. Impacts of forestry practices, on a coastal stream ecosystem, Carnation Creec, British Columbia // *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 1990. S. 223. — 148 p.

Hartman G.F., Scrivener J.C., Miles M.J. Impacts of logging in Carnation creek, a high-energy coastal stream in British Columbia, and their implication for restoring fish habitat // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1996. Vol. 53 № 1. P. 237–251. http://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/ffip/Hartman_GF1996CanJFishAquatSci.pdf.

Hassan M.A., Gottesfeld A.S., Montgomery D.R., Tunnicliffe J.F., Clarke G.C., Wynn G., Jones-Cox H., Poirier R., MacIsaac E., Herunter H., McDonald S.J. Salmon-driven bedload transport and bed morphology in mountain streams // *Geophysical Research Letters.* 2008. Vol. 35 (1). P. 1–6.

Helfeld J.M., Naiman R.J. Effects of salmon-derived nitrogen on riparian forest growth and implications for stream productivity // *Ecology.* 2001. Vol. 82. № 12. P. 2403–2409.

Hendry A.P., Berg O.K. Secondary sexual characters, energy use, senescence, and the cost of reproduction in sockeye salmon // *Can. J. Zool.* 1999. Vol. 77. P. 1663–1675.

Herbert D.W.M., Merckens J.C. The effect of suspended mineral solids on the survival of trout // *Int. J. Air Wat. Poll.* 1961. Vol. 5. P. 46–55.

Herbert D.W.M., Richards J.M. The growth and survival of fish in some suspensions of solids of industrial origin // *Int. J. Air Wat. Poll.* 1963. Vol. 7. P. 297–302.

Hilderbrand G.V., Hanley T.A., Robbins C.T., Schwartz C.C. Role of brown bears (*Ursus arctos*) in the flow of marine nitrogen into a terrestrial ecosystem // *Oecologia.* 2000. Vol. 121. P. 546–550.

Holtby L.B., McMahon T.E., Scrivener J.C. Stream temperatures and interannual variability in the emigration timing of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolts and fry and chum salmon (*O. keta*) fry from Carnation Creek, British Columbia // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1989. Vol. 46. P. 1396–1405.

Honea J.M., Gara R.I. Macroinvertebrate community dynamics: strong negative response to salmon redd construction and weak response to salmon-derived nutrient uptake // J. N. Amer. Bent. Soc. 2009. Vol. 28. № 1. P. 207–219.

Kline T.C., Goering J.J., Mathisen O.A., Poe P.H., Parker P.L. Recycling of elements transported upstream by runs of Pacific salmon: I. ^{615}N and ^{613}C evidence in Sashin Creek, south-eastern Alaska // Can. J. Fish. and Aquat. Scien. 1990. Vol. 47. P. 136–144.

Kline T.C., Goering J.J., Piorkowski R.J. The effects of salmon carcasses on Alaskan freshwaters // In: Freshwaters of Alaska: ecological synthesis. / Eds.: A.M. Milner, M.W. Oswood. N.-Y.: Springer-Verlag, 1997. P. 179–204.

Kunze U. Significance of habitat diversity and woody debris in streams // Oesterr. Fisch. (Salzburg). 1998. Vol. 51. № 7. P. 156–166.

Lake P.S. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters // Freshwater Biology. 2003. Vol. 48. P. 1161–1172.

Lang D.W., Reeves G.H., Hall J.D., Wipfli M.S. The influence of fall-spawning coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) on growth and production of juvenile coho salmon rearing in beaver ponds on the Copper River Delta, Alaska // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2006. Vol. 63. № 4. P. 917–930.

LeGore R.S., DesVoigne D.M. Absence of acute effects on the spine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) and coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) exposed to resuspended harbor sediment contaminants // J. Fish. Res. BD Can. 1973. Vol. 30. № 8. P. 1240–1242.

Leman V.N., Chebanova V.V. Response of lithophilic zoobenthos to changes in the granulometric composition of grounds in the metarhithral zone of a small river in the foothills of southwestern Kamchatka // Rus. J. Ecol. 2005. Vol. 36. № 2. P. 103–108.

Lenat D.R., Crawford J.K. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams // Hydrobiologia. 1994. Vol. 294. P. 185–199.

Lloyd D.S. Turbidity as a water quality standard for salmonid habitats in Alaska // N. Amer. J. Fish. Manag. 1987. Vol. 7. P. 34–45.

Lloyd D.S., Koenings J.P., LaPerriere J.D. Effects of turbidity in fresh waters of Alaska // N. Am. J. of Fisheries Manag. 1987. Vol. 7. P. 18–33.

Lorenz J.M., Eiler J.H. Spawning habitat and redd characteristics of sockeye salmon in the Glacial Taku river, British Columbia and Alaska // Trans. Amer. Fish. Soc. 1989. Vol. 118. № 3. P. 495–502.

Luderitz V., Jupner R., Muller S., Feld C. K. Renaturalization of streams and rivers — the special importance of integrated ecological methods in measurement of success. An example from Saxony-Anhalt (Germany). Limnologica, 2004. Vol. 34. P. 249–263.

Magoulick D.D., Kobza R.M. The role of refugia for fishes during drought: a review and synthesis // Frashwat. Biol. 2003. Vol. 48. P. 1186–1198.

Marcot B.G., Castellano M.A., Christy J.A., Croft L.K., Lehmkuhl J.F., Naney R.H., Rosentreter R.E., Sandquist R.E., Zieroth E. Terrestrial ecology assessment // An assessment of ecosystem components in the interior Columbia Basin and portions of the Klamath and Great Basins / Ed. T.M. Quigley, S.J. Arbelbide, S.F. McCool. Portland, Oregon: Pacific Northwest Research Station, 1997. P. 1497–1713.

Marcot B.G., Vander Heyden M. Ecological functions of wildlife species // Wildlife habitat relationships in Oregon and Washington / Ed. D. H. Johnson, T. A. O'Neil. Corvallis: Oregon St. Univ. Press, 2001. P. 168–186.

Marcus W.A., Legleiter C.J., Aspinall R.J., Boardman J.W., Crabtree R.L. High spatial resolution hyperspectral mapping of in-stream habitats, depths, and woody debris in mountain streams // J. Geomorphology. 2003. Vol. 55. P. 363–380.

Marks S.D., Rutt G. Fluvial sediment inputs to upland gravel bed rivers draining forested catchments: potential ecological impacts // Hydr. Earth Syst. Sci. 1997. Vol. 1. № 3. P. 499–508. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/1/499/1997/hess-1-499-1997.pdf>.

Mathewson D.D., Hocking M.D., Reinchen T.E. Nitrogen uptake in riparian plant communities across a sharp ecological boundary of salmon density // BMC Ecology. 2003. Vol. 3. № 4. <http://www.biomedcentral.com/1472-6785/3/4>.

Mathisen O.A., Parker P.L., Goering J.J., Kline T.C., Poe P.H., Scalan R.S. Recycling of marine elements transported into freshwater systems by anadromous salmon // Internationale Vereinigung fu. r theoretische und angewandte Limnologie Verhandlungen. 1988. Vol. 23. P. 2249–2258.

Mayr C. The effects of water turbidity on distribution and feeding success of European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) // Arch. Hydrobiol. Spec. Iss. Advanc. Limnol. 2002. Vol. 57. P. 265–275.

Michael J.H. Enhancement effects of spawning pink salmon on stream rearing juvenile coho salmon: managing one resource to benefit another // Northwest Science. 1995. Vol. 69. № 2. P. 228–233.

Minagawa M., Wada E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between ^{15}N and animal age // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. Vol. 48. № 5. P. 1135–1140.

Minakawa N., Gara R.I. Ecological effects of a chum salmon (*Oncorhynchus keta*) spawning run in a small stream of the Pacific Northwest // J. Fresh. Ecol. 1999. Vol. 14. P. 327–335.

Naiman R.J., Bilby R.E., Schindler D.E., Helfield J.M. Pacific salmon, nutrients, and the dynamics of freshwater and riparian ecosystems // Ecosystems. 2002. № 5. P. 399–417.

Newcombe C.P., McDonald D.D. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems // N. Amer. J. Fish. Manag. 1991. Vol. 11. P. 72–82.

O'Keefe T., Edwards R.T. Evidence for hyporheic transfer and removal of marine-derived nutrients in a sockeye stream in southwest Alaska // Am Fish Soc Symp. 2003. Vol. 34. P. 99–107.

Owens N.J.P. Natural variations in $\delta^{15}\text{N}$ in the marine environment // Advanced Marine Biology. 1987. Vol. 24. P. 389–451.

Perrin C.J., Bothwell M.L., Slaney P.A. Experimental enrichment of a coastal stream in British Columbia: effects of organic and inorganic additions on autotrophic periphyton production // Can. J. Fish. Aquat. Scien. 1987. Vol. 44. P. 1247–1256.

Peterson B.J., Fry B. Stable isotopes in ecosystem studies // Annual review of ecology and systematics. 1987. Vol. 18. P. 293–320.

Petticrew E.L., Albers S.J. 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, 2010. Vol. 337. P. 251–257.

Pinay G., O'Keefe T.C., Edwards R.T., Naiman R.J. Nitrate removal in the hyporheic zone of a salmon river in Alaska // River Res. Appl. 2009. Vol. 25. P. 375–376.

Pritchard A.L. Efficiency natural propagation of the pink salmon (*Oncorhynchus gorbusha*) in McClinton creek // B. C. J. Fish. Res. Bd. Canada, 1948. Vol. 12. № 5. P. 224–236.

Redding J.M., Schreck C.B., Everest F.H. Physiological effects on coho salmon and steelhead of exposure to suspended solids // Trans. Amer. Fish. Soc. 1987. Vol. 116. P. 737–744.

Reynolds J., Simmons R.C., Burkholder A.R. Effects of placer mining discharge on health and food of arctic grayling // Water Resources Bulletin. 1989. Vol. 25. № 3. P. 625–635.

Rolls R.J., Leigh C., Sheldon F. Mechanistic effects of low-flow hydrology on riverine ecosystems: ecological principles and consequences of alteration // Freshwater Science. 2012. Vol. 31. № 4. P. 1163–1186. <http://www.jnabs.org/doi/full/10.1899/12-002.1>.

Scheidegger E. The Algebra of Stream Order Numbers. U. S. Geological Survey Professional Paper, 1965. Vol. 525B. P. 187–189.

Scott M.S., Helfman G.S., McTammany M.E., Benfield E.F., Bolstad P.V. Multiscale influences on physical and chemical stream conditions across Blue Ridge landscapes // *J. Amer. W. Res. Assoc.* 2003. № 38. P. 1379–1392.

Scrivener J.C., Macdonald J.S. 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.* 1998. P. 267–282.

Servizi J.A., Martens D.W. Some effects of suspended Fraser river sediments on sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) / In: Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) population biology and future management, H.D. Smith, L. Margolis, C.C. Wood [ed.] // *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 1987. Vol. 96. P. 254–264.

Servizi J.A., Martens D.W. Sublethal responses of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) to suspended sediments // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1992. Vol. 49. P. 1389–1395.

Shapovalov L. Experiments in hatching steelhead eggs in gravel // *Calif. Fish Game.* 1937. Vol. 23. № 3. P. 208–214.

Shaw E.A., Richardson J.S. Direct and indirect effects of sediment pulse duration on stream invertebrate assemblages and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and survival // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2001. Vol. 58. P. 2213–2221.

Shaw P.A., Maga J.A. The effect of mining silt on yield of fry from salmon spawning beds // *Calif. Fish and Game.* 1943. Vol. 9. № 1. P. 29–41.

Sidle R.C., Sharpley A.N. Cumulative effects of land management on soil and water resources: An overview // *J. Environ. Qual.* 1991. Vol. 20. № 1. P. 1–3.

Sigler J. W. Effects of chronic turbidity on anadromous salmonids: Recent studies and assessment techniques perspectives / In: Effects of dredging on anadromous Pacific Coast fishes: workshop proceedings. Ed. C. A. Simenstad. Seattle, Washington: University of Washington Sea Grant Program, 1990. P. 26–37.

Sigler J.W., Bjornn T.C., Everest F. H. Effects of chronic turbidity on density and growth of steelheads and coho salmon // *Trans. Amer. Fish. Soc.* 1984. Vol. 113. P. 142–150.

Stanford J.A., Lorang M.S., Hauer F. R. The shifting habitat mosaic of river ecosystems // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 2005. № 29. P. 123–136.

Stuart T.A. Spawning migration, reproduction and young stages of loch trout (*Salmo trutta* L.) // *Freshwat. Salmon Fish. Res.* 1953. V. 5. 39 p.

Stubbington R. The hyporheic zone as an invertebrate refuge: a review of variability in space, time, taxa and behaviour // *Marine and Freshwater Research.* 2012. Vol. 63. № 4. P. 293–311.

Stubbington R., Wood P.J., Reid I. Spatial variability in the hyporheic zone refugium of temporary streams // *Aquatic Sciences.* 2011. Vol. 73. № 4. P. 499–511.

Suttle K.B., Power M.E., Levine J. M., McNeely C. How fine sediment in riverbeds impairs growth and survival of juvenile salmonids // *Ecol. Appl.* 2004. Vol. 14. № 4. P. 969–974.

Swales S. Utilization of off-channel habitats by juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in interior and coastal streams in British Columbia // *Trav. Assoc. Int. Limnol. Theor. Appl.* 1987. Vol. 23. № 3. P. 1676.

Tappel P.D., Bjornn T.C. New method of relating size of spawning gravel to salmonid embryo survival // *North Am. J. Fish. Management.* 1983. Vol. 3. P. 123–135.

Tazaki K., Sato M., Van Der Gaast S., Morikawa T. Effects of clay-rich river-dam sediments on downstream fish and plant life // *Clay Minerals.* 2003. Vol. 38. P. 243–253.

Thomas S.A., Royer T.V., Minshall G.W., Snyder E. Assessing the historic contribution of marine derived nutrients to Idaho streams. Nutrients to salmonid ecosystems: sustaining production and biodiversity / Ed. by J. G. Stockner. American Fisheries Society Symposium 34, Bethesda, 2003. P. 41–55.

Tockner K., Paetzold A., Karaus U., Claret C., Zettl J. Ecology of braided rivers. Braided rivers: process, deposits, ecology and management. IAS Special publ. 2006. P. 139–159.

Turnpenny A.W.H., Williams R. Effects of sedimentation on the gravel of an industrial river system // *J. Fish. Biol.* 1980. Vol. 17. P. 681–693.

Vannote R.L., Minshall G. W., Cummins K. W., Sedell I. R., Cushing C. E. The river continuum concept // *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 1980. Vol. 37, № 1. P. 130–137.

Wagner S.M., LaPerriere J. D. Effects of placer mining on the invertebrate communities of interior Alaska streams // *Freshwat. Invertebr. Biol.* 1985. Vol. 4. № 4. P. 208–214.

Walter J.K., Bilby R.E., Fransen B.R. Effects of Pacific salmon spawning and carcass availability on the caddisfly *Ecclisomyia conspersa* (Trichoptera: Limnephilidae) // *Freshwater Biology.* 2006. Vol. 51. P. 1211–1218.

Ward J.V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems // *J. North Am. Benth. Soc.*, 1989. Vol. 8. P. 2–8.

Water quality criteria for European freshwater fish // *Int. J. Air Wat. Poll.* Pergamon Press, 1965. Vol. 9, P. 151–168.

Williams D.D. Temporal patterns in recolonization of stream benthos // *Arch. Hydrobiol.* 1980. Vol. 90. № 1. P. 56–74.

Williams D.D., Mundie J.H., Mounce D.E. Benthic production in a salmonid refring channel // *J. Fish. Res. Bd. Can.* 1977. Vol. 34. № 11. P. 2133–2141.

Willson M.F., Gende S.M., Martson B.H. Fishes and the forest // *Boisience.* 1998. Vol. 48. P. 455–462.

Winter B. D., Geisenbichler R., Schreiner E. The importance of marine-derived nutrients for ecosystem health and productive fisheries. Elwha Restoration Project Office. Port Angeles, WA, 2000. 32 p. <http://www.nps.gov/archive/olym/elwha/docs/onrcreg.html>.

Wipfli M.S., Hudson J. P., Caouette J. P. Marine subsidies in freshwater ecosystems: salmon carcasses increase the growth rates of stream-resident salmonids // *Trans. Amer. Fish. Soc.* 2003. Vol. 132. P. 371–381.

Wipfli M.S., Hudson J. P., Chaloner D. T., Caouette J. P. Influence of salmon spawner densities on stream productivity in Southeast Alaska // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1999. Vol. 56. № 9. P. 1600–1611.

Youngson A.F., Jordan W.C., Verspoor E., McGinnity P., Cross T., Ferguson A. Management of salmonid fisheries in the British Isles: towards a practical approach based on population genetics // *Fish. Res.* 2003. Vol. 62. P. 193–209.

Нормативная и методическая литература

Водный кодекс Российской Федерации. М.: Право и закон, 2006. 64 с.

Временная методика оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных объектах. Утв. Госкомприроды СССР 20.10.1989, Минрыбхозом СССР 18.12.1989.

Временные указания по оценке повышения мутности при землечерпательных работах, проводимых для обеспечения транзитного судоходства на реках и учёту её влияния на качество воды и экологию гидробионтов. М.: МРФ РСФСР, 1986.

ВСН 163-83. Учёт деформаций речных русел и берегов водоёмов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). Госстрой СССР, 1985.

ВСН 014-89. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Охрана окружающей среды. М.: Миннефтегазстрой, 1990.

ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. М.: Госстандарт СМ СССР, 1973.

Методика определения размера вреда, который может быть причинён жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии СГТС. Утв. приказом МЧС РФ и Минтранса РФ от 2 октября 2007 г. № 528/143.

Методические рекомендации по оценке подземного притока в реки. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 94 с.

Методические указания о составе, содержании, порядке разработки, согласования, утверждения и уточнения схем комплексного использования и охраны водных ресурсов. ИВН 33-5.107-87. М.: Минводхоз СССР, 1987. 67 с.

Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты: утверждены приказом Министерства природных ресурсов РФ 12 декабря 2007 г. № 328: зарегистрированы в Минюсте РФ 23.01.2008 г., рег. № 10974.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 257 с.

Перечень рыбопромысловых участков. Приложение к постановлению Правительства Камчатского края от 03 декабря 2009 г. № 464-П. в ред. Постановлений Правительства Камчатского края от 17.05.2010 № 225-П, от 05.10.2010 № 420-П, от 17.05.2011 № 185-П, от 22.05.2012 № 230-П, от 07.12.2012 № 554-П, от 24.06.2013 № 273-П. 2009.

Письмо Минрегиона России № 23167-ИП/08 от 03.09.2012.

Постановление Правительства РФ № 1303 «Положение о декларировании безопасности гидротехнических сооружений» от 06.11.1998.

Постановление Правительства РФ № 219 «Об утверждении положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» от 10.04.2007.

Постановление Правительства РФ № 569 «Об утверждении правил согласования размещения хозяйственных и иных объектов, а также внедрения новых технологических процессов, влияющих на состояние водных биологических ресурсов и среду их обитания». М., 2008.

РД 153-34.2-02.409-2003. Методические указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду

РД 51-2-95. Регламент выполнения экологических требований при размещении, проектировании, строительстве и эксплуатации подводных переходов магистральных газопроводов (утв. приказом РАО «Газпром» 08.08.1995). 1995.

Регламент технической эксплуатации подводных переходов магистральных нефтепроводов. АК Транснефть, 2001.

Руководство по разработке раздела ОВОС в проектах карьеров обводнённых месторождений песчано-гравийных материалов». М.: Изд-во МГУ, 1995.

СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. Государственный строительный комитет, 1987.

СНиП 1.02.07-87 Инженерные изыскания для строительства. 1987.

СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения. Основания и фундаменты. Государственный строительный комитет СССР. М., 1988.

СНиП 11-01-95 Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений.

СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Минстрой России, 1996.

СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. М., 1997.

СО 34.21.204-2005. Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов. РАО ЕЭС России, 2005.

СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85.

СП 32-102-95. Сооружения мостовых переходов и подтопляемых насыпей. Методы расчёта местных размывов.

СП 11-103-97 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Госстрой России, 1997.

СП 33-101-2003 Определение основных расчётных гидрологических характеристик. Свод правил по проектированию и строительству. М.: Госстрой России, 2004.

Справочник базовых цен на инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 1999.

Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства. Инженерно-гидрографические работы. Инженерно-гидрометеорологические изыскания на реках. М.: Госстрой России, 2000.

Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства. Инженерно-геодезические изыскания. М.: Госстрой России, 2004.

СТО ГУ ГГИ 08.29-2009. Учёт руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки. СПб.: Нестор-История, 2009. 184 с.

СТО ФГБУ «ГГИ» 52.08.31-2012. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учёт руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. СПб.: Глобус, 2012. 140 с.

Требования по предотвращению гибели объектов животного мира при осуществлении производственных процессов, а также при эксплуатации транспортных магистралей, трубопроводов, линий связи и электропередачи (утв. Постановлением Правительства РФ № 997 от 13.08.1996 г.).

ФЗ «О животном мире» № 52-ФЗ от 24.04.1995.

ФЗ РФ «Об охране окружающей природной среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002..

Об авторах

Основные авторы



ЧАЛОВ Сергей Романович, кандидат географических наук. Автор более 80 научных работ по гидрологической, геоморфологической и экологической тематике, среди них 3 монографии, 1 учебное пособие; более 20 трудов связано с региональными вопросами гидроэкологической безопасности и природопользования в Камчатском крае.

Научный руководитель ряда научно-исследовательских водохозяйственных работ на Камчатке, осуществляемых при поддержке грантов РФФИ (2012–2014), президента Российской Федерации (2012–2013), фонда Sumitomo (Япония) (2012–2013), фонда Provention Consortium for Disaster risk reduction (Швейцария) (2008–2009), а также в рамках государственных контрактов Министерства природных ресурсов и экологии Камчатского края (2009–2010, 2012–2013). С 2003 по 2014 г. провёл на Камчатке 11 полевых сезонов.



ЛЕМАН Всеволод Николаевич, кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией воспроизводства лососёвых рыб Всероссийского НИИ рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), заведующий лабораторией оценки антропогенного воздействия на водные биологические ресурсы Камчатского НИИ рыбного хозяйства и океанографии (2000–2006).

Выпускник кафедры ихтиологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (1980). Основная квалификация — ихтиолог, эколог. Область научных интересов — экология и воспроизводство лососёвых рыб, их заводское разведение и устойчивый промысел, антропогенное воздействие и охрана нерестовых лососёвых рек. С 2003 по 2009 г. — руководитель рабочей группы Проекта Программы развития Организации Объединённых Наций (ПРООН) и Глобального экологического фонда (ГЭФ) «Сохранение биоразнообразия лососёвых Камчатки и их устойчивое использование». Почётный работник рыбного хозяйства (2002), награждён медалью «За заслуги в развитии рыбного хозяйства России» (2012). Автор около 100 научных публикаций, включая 5 монографий.



ЧАЛОВА Александра Сергеевна, кандидат географических наук, выпускник кафедры гидрологии суши МГУ им. М.В. Ломоносова (2006). Тема кандидатской диссертации — «Русловые процессы на реках Камчатского края», защищена в 2009 г. на учёном совете географического факультета МГУ по гидрометеорологии по специальности 25.00.27 «Водные ресурсы, гидрология, гидрохимия».

Авторы разделов

УЛАТОВ Антон Владимирович, старший научный сотрудник КамчатНИРО, область интересов — сохранение и восстановление экосистем лососёвых рек при воздействиях различных форм хозяйственной деятельности; современные подходы к проведению эколого-рыбохозяйственного мониторинга и ОВОС. Изучает механизмы изменения нерестовой и нагульной ёмкости среды обитания лососей на Камчатке; занимается проблемами оценки ущербов водным биологическим ресурсам, научного обоснования снижения экологических рисков, подготовки экологически ориентированных рекомендаций и проектных решений по снижению ущербов популяциям лососёвых рыб и среде их обитания.



ЗАВАДСКИЙ Александр Сергеевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) эрозии почв и русловых процессов МГУ им. М.В. Ломоносова. Академический советник Академии проблем водохозяйственных наук. Область научных интересов — русловые процессы, гидроэкология, водные ресурсы.



ЕСИН Евгений Владиславович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории воспроизводства лососёвых рыб ВНИРО. В 2005 г. закончил биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, основная квалификация — ихтиолог. Научные интересы связаны с экологией и токсикологией лососёвых нерестовых рек, зоогеографией и эволюцией лососёвых рыб. Автор более 40 научных работ по экосистемам и фауне рек Камчатского края. Руководитель и участник более 10 экспедиций на Камчатке, Сахалине, Курилах. Руководитель грантов Президента РФ, РФФИ, участник проектов ПРООН, ГЭФ, ЦДЛ.



ТЕРСКИЙ Павел Николаевич, выпускник кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (2007). В 2012 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата географических наук на тему, связанную с речными наводнениями в бассейнах рек Белоголовой и Хайрюзовой (Западная Камчатка) (2012) и р. Авачи (Восточная Камчатка) (2013).



ШКОЛЬНЫЙ Данила Игоревич, инженер-гидролог, выпускник кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (2012). Провёл на Камчатке в различных её регионах 4 полевых сезона, работал в штате Камчатского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) специалистом-гидрологом на посту Ключи.



ПРОМАХОВА Екатерина Васильевна, аспирант географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Научные интересы связаны с изучением влияния взвешенных частиц техногенного происхождения на водные объекты. Организатор и участник экспедиций в бассейнах рек Караги, Вывенки, Авачи.

The Kamchatka Peninsula lies between the Pacific Ocean to the east and the Sea of Okhotsk to the west and is considered the last global gene pool for wild salmon (*Oncorhynchus*).

This study is based on research from the point of view of geomorphology, ecology, hydraulics, sediment transport, environmental management and river engineering. A detailed, integrated treatment of river channel dynamics is developed in the study to better understand natural and human-induced hazards of in-channel processes. The latter include man-made structures, severe bank erosion and river widening, and degradation of aquatic and riparian habitats.

The abundant field research of in-channel processes conducted over the last few decades on the Kamchatka peninsula gives a comprehensive assessment of stream morphodynamics and salmon populations in the context of current river engineering on the peninsula. The book also contains the full story of the construction of the Kamchatka gas pipeline, bridges and channel bank protection structures along Kamchatka rivers with a special focus on the impacts on channel adjustments and salmon populations.

This book will be of interest to academics and advanced level students who are studying fluvial geomorphology, river engineering, and ecology. It will also appeal to all engineers and managers who are interested in river adjustment and management.

Научное издание

**ОПАСНЫЕ РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ
И СРЕДА ОБИТАНИЯ ЛОСОСЁВЫХ РЫБ НА КАМЧАТКЕ**

Монография

Редактор *М.Р. Вервальд*
Корректор *М. Смирнова*
Компьютерная вёрстка *О.В. Ромашкова*

Подписано в печать
Формат 148×210/ *Доля листа?* Бумага ? Гарнитура Minion Pro
Печать ? Усл. печ. л.? Уч-изд. л. ?
Тираж 250 экз. Заказ?

Типография ?

