



ПОЙМА И ПОЙМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

*Санкт-Петербург
2006*



Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Российский государственный гидрометеорологический университет
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Географический факультет

ПОЙМА И ПОЙМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Под редакцией профессора Н. Б. Барышникова
и профессора Р. С. Чалова



Санкт-Петербург
2006



УДК 556.536

ББК

П

Пойма и пойменные процессы. Межвузовский сборник. Под редакцией проф. Н.Б. Барышникова и проф. Р.С. Чалова. СПб.: изд-во РГТМУ. 2006. – 136 с.

В сборнике представлены материалы рабочего совещания Межвузовского координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ, состоявшегося в апреле 2005 г. в Российском государственном гидрометеорологическом университете, посвящённого исследованиям морфологии, гидрологии и гидравлике речных пойм.

Сборник рассчитан на специалистов в области русловедения, гидрологии рек и флювиальной геоморфологии.

Печатается по постановлению президиума Межвузовского научно-координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ.

Рецензенты:

Д-р геогр. наук, проф. Н.Н. Назаров (Пермский государственный университет)
Канд. геогр. наук С.Н. Рулёва (Московский государственный университет)

© РГТМУ

© МГУ им. М.В. Ломоносова

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый сборник содержит материалы рабочего совещания учёных ряда вузов России, объединённых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ. В него включены статьи преимущественно тех авторов, которые принимали непосредственное участие в работе совещания и представили тезисы своих докладов к публикации. К сожалению, это сделали не все участники совещания; кроме того, представители ряда вузов, в которых ведутся исследования речных пойм (в частности, Казанского государственного университета, Воронежского государственного педагогического университета), по тем или иным причинам не смогли приехать на совещание. Поэтому материалы, помещённые в сборнике, лишь отчасти отражают многообразие направлений, по которым в настоящее время ведутся исследования пойм и пойменных процессов. Тем не менее, ознакомление со сборником позволяет читателю увидеть новые подходы к решению традиционных задач, познакомиться с результатами исследований пойм, полученных в последние годы, получить представление о подходах к вновь возникшим проблемам, связанным с изучением речных пойм.

Авторы сборника, его редакторы и составители выражают надежду, что он будет полезен всем, кто изучает речные поймы.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОЙМ КАК ОБЪЕКТА РУСЛОВЕДЕНИЯ (В ИСТОРИКО-НАУЧНОМ АСПЕКТЕ)¹

Речные поймы вместе с руслами рек – уникальные географические объекты, составляющие затопляемое в многоводную фазу гидрологического режима днище долины. Формируясь в процессе эрозионно-аккумулятивной деятельности реки и регулируя сток высоких вод, являясь «не только местом аккумуляции наносов речного потока, но и источником их пополнения» (Маккавеев, 1955, с. 237), поймы покрыты своим специфическим почвенно-растительным покровом (пойменные почвы в большинстве своём очень плодородны), имеют свои, отличающиеся от зональных, пойменные ландшафты, обладают своими биологическими ресурсами и биологическим разнообразием и представляют собой важнейший элемент природы, очень чувствительный как к естественным гидроклиматическим изменениям, так и к антропогенным воздействиям. Вместе с тем, пойма – неотъемлемая составная часть речного русла, объект исследования учения о русловых процессах, а поймоведение в этом отношении является частью географического русловедения. Будучи производной речных эрозионно-аккумулятивных процессов, т. е. руслоформирующей деятельности рек, представляя собой, по Н.И. Маккавеву, «подвижное образование» на дне речных долин из-за размыва пойменных берегов, зарастания прирусловых отмелей и новообразований молодой поймы, регулируя сток воды и наносов при её затоплении, пойма, в обратной связи, является фактором русловых процессов благодаря периодическому рассредоточению потока и смыву его с поймы в русло, возникающему взаимодействию руслового и пойменного потоков и т.д.

Поэтому русловые и пойменные процессы обычно рассматриваются как единое явление [Маккавеев, 1955; Кондратьев, Ляпин и др., 1959; Чалов, 1979; Кондратьев и др., 1982; Маккавеев, Чалов, 1986; Каменсков, 1987; Барышников, Попов, 1988]. В свою очередь, русловые деформации, приводящие к изменению положения русла на дне долины (горизонтальные) или отметок его дна (вертикальные – врезание или направленная аккумуляция наносов), сказываются на состоянии пойменных почв и растительности, обуславливают динамику пойменных ландшафтов. Такое положение поймы определяет её большое хозяйственное значение (сельскохозяйственное; рекреационное; как месторождения полезных ископаемых, главным образом, строительных материалов, но и россыпных; для прокладки коммуни-

¹ Выполнено по гранту РФФИ (проект 06-05-642) и гранту государственной поддержки научных исследований РФ ИШ-4884, 2006.5.

каций; селитебное и градостроительное и т.д.). Поэтому поймы рек всегда привлекали внимание исследователей самого разного профиля и направлений, представляющих географические, технические, сельскохозяйственные, биологические, геолого-минералогические науки. Этому способствовала многофункциональная роль самой поймы – экологическая, гидрологическая, русловая, ландшафтная, геологическая...

Если не считать упоминаний о поймах как об элементах рельефа долин и изменениях их ширины, содержащихся в трудах В.В. Докучаева, А.А. Борзова, С.Н. Никитина и других классиков отечественной физической географии, то первый анализ рельефа пойм и его связей с работой реки был предпринят геоботаниками (А.М. Дмитриевым в 1904 г.) и почвоведом (В.Р. Вильямсом в 1919 г.). И хотя в их построениях было ещё много дилетантского, а зачастую, не всегда верного, сам факт увязки морфологии поймы и русла реки в едином комплексе имел принципиально важное значение для всей последующей истории речных пойм. Первый капитальный труд о поймах рек также принадлежит геоботанику-луговеду Р.А. Еленевскому [1936]. Почти половина его книги посвящена рельефу поймы как определяющему фактору в развитии пойменной растительности, классификации пойм по этому признаку (она до сих пор не утратила своего значения, и многие её элементы входят в самые современные классификационные схемы) и попыткам объяснить его происхождение эрозионно-аккумулятивной руслоформирующей деятельностью речного потока. Впоследствии именно представления Р.А. Еленевского о морфологии пойм вошли в учебную геоморфологическую [Щукин, 1960] и специальную русловую [Кондратьев и др., 1982] литературу.

На поймы рек как на фактор русловых процессов впервые обратил внимание Н.И. Маккавеев [Маккавеев, Советов, 1940]; несколько позднее он расширил свой подход к анализу поймы, впервые наметив связь процессов формирования поймы с русловыми деформациями [Маккавеев, 1949, 1955]. С точки зрения влияния на русловые процессы, Н.И. Маккавеев предложил выделить поймы односторонние и двухсторонние. Вместе с тем он рассматривал поймы как один из уровней проявления русловых и, в целом, эрозионно-аккумулятивных процессов: бассейн реки – река в целом (продольный профиль) – пойма – русло реки – перекаты.

Более полную картину формирования рельефа пойм, а также строения составляющих их аллювиальных толщ, их литологии и текстуры, опираясь на учение о русловых процессах по состоянию на 30-40-е гг. XX столетия, дал Е.В. Шанцер [1951]. К сожалению, его представления в трудах его учеников и последователей (Ю.А. Лаврушина, А.А. Лазаренко и др.) не столько развивались, сколько постулировались, и бурное развитие теории русловых процессов в 50-70-е гг. осталось уже, в основном, за пределами взглядов и геологов, и геоморфологов, и даже гидрологов, вследствие чего некоторые схемы Е.В. Шанцера, уже устаревшие, стали перекочёвывать из одного учебника в другой, хотя в русловой литературе они были давно откорректи-

рованы. Это замечание ни в коей мере не уменьшает заслуг Е.В. Шанцера, впервые создавшего качественную модель механизма формирования поймы, её рельефа и аллювиальных отложений. Согласовывая идеи Е.В. Шанцера о формировании аллювия с представлениями о развитии речных излучин, В.Н. Орлянкин [1963] разработал методику определения мощности его русловой фации по параметрам «вееров блуждания» - сегментно-гривистого рельефа пойм, отражающего все этапы эволюции излучин. При этом он опирался уже на более современные, чем Е.В. Шанцер, представления о меандрировании рек, изложенные, в частности, в статьях И.В. Попова, относящихся уже к концу 50-х годов XX в.

С именем И.В. Попова в русловедении связан новый этап в изучении пойм [Кондратьев, Ляпин, Попов и др., 1959; 1965; Кондратьев и др., 1982; Барышников, Попов, 1988]. Он не только разработал детальную классификацию пойм по их рельефу, увязав последний с типами русловых процессов (в соответствии с направлением, развиваемым в ГГИ), но и предложил методику восстановления древних положений русла по рельефу пойм (для меандрирующих рек). В его трудах (в т.ч. в соавторстве) пойма и пойменные процессы были включены в общее определение русловых процессов. Представления И.В. Попова получили развитие в работах его ученика Ю.И. Каменскова [1987], к сожалению, очень рано ушедшего из жизни.

Одновременно в 60-70-е гг. поймы рек как производные русловых процессов во всём многообразии их проявления и в то же время как их фактор исследовались в рамках географо-гидрологического направления, развиваемого в МГУ [Чалов, 1970, 1979; Беркович, 1970]. Его кульминацией явилась специальная (впервые после Р.А. Еленевского) монография А.В. Чернова [1983], в которой дана геоморфологическая характеристика пойм рек с широкопойменным и врезанным руслом, описан механизм формирования рельефа пойм в ходе эволюции русел всех морфодинамических типов, влияния на него затоплений поймы и вертикальных русловых деформаций, а также нефлювиальных факторов и процессов; наряду с «геоморфологической классификацией», основанной на морфодинамической классификации русел МГУ, А.В. Чернов впервые выполнил районирование крупного региона (в пределах СССР) по характеру речных пойм.

В 50-60-е гг. возникло гидролого-гидродинамическое направление в изучении речных пойм, связанное с необходимостью учёта условий и характера затопления пойм в многоводную фазу водного режима для расчётов речного стока. Его родоначальником, очевидно, следует считать Г.В. Железнякова [1950], который ввёл понятие «кинематический эффект», проявляющийся в динамике речного потока при выходе воды за пределы бровок поймы. Впоследствии эта проблема развивалась Д.Е. Скородумовым [1965], Ю.Н. Соколовым [1991], изучавшими гидравлические сопротивления рельефа и растительности поймы при движении потока и предложившими ряд расчётных формул для определения шероховатости её поверхности, и особенно Н.Б. Барышниковым [1984], по существу создавшим учение о гидро-

логии и гидравлике расчёта пойм. Н.Б. Барышников, классифицируя типы взаимодействия руслового и пойменного потоков, доказал их влияние на транспортирующую способность речных потоков и разработал серию моделей, позволяющих их учитывать при определении гидравлических характеристик потока. Подчёркивая роль поймы во внутригодовом распределении стока, он определил её как «часть русла, служащую для пропуска и регулирования паводочного стока» [Антроповский, Барышников, Саликов, 2004, с. 33], отмечая, вместе с тем, что она «является регулятором стока взвешенных наносов» [Барышников и др., 2002, с. 62]. Здесь уместно напомнить, что М.А. Великанов [1958] называл пойму «большим руслом реки». Несмотря на определённую «технизацию» и отрыв подобных определений от других гидрологических и русловых функций и связей речных пойм, они достаточно чётко отражают их стокорегулирующее значение.

Вопросы гидрологии пойм (режима затопления и осадконакопления на её поверхности) впервые в литературе были освещены Н.И. Маккавеевым [1949, 1951, 1955], предложившим выделять пять фаз гидрологического режима поймы, каждая из которых отличается своими особенностями влияния на русловые процессы. Впоследствии появилось достаточно много региональных описаний затоплений поймы (по Амуру, Оби, Северной Двине), а выполненные в ГГИ обобщения в основном подтвердили схему Н.И. Маккавеева (правда, без ссылок на неё).

В 80-90-е гг. XX столетия в МГУ стало развиваться, по существу, новое направление в поймоведении – ландшафтно-индикационное. Если почвоведы и геоботаники на заре изучения пойм обращали внимание на их рельеф, как основу формирования ландшафтов, связав его происхождение с перестроениями русел и аккумуляцией наносов на поверхности поймы, то теперь во главе угла встала динамика почвенно-растительного покрова и ландшафтов в целом, которые рассматриваются, как показатели направленности, интенсивности, многолетнего и сезонного режима русловых деформаций [Злотина, 1989; Сурков, 1999]. Благодаря этим работам стало возможным по временной динамике пойменных ландшафтов оценивать изменения, происходящие в русле (врезание, направленная аккумуляция, смещение в плане и т. д.), а также использовать их в качестве показателя наводнений или, наоборот, посадки уровня воды. Это направление исследований непосредственно связано с экологическими оценками состояния речных пойм [Беркович и др., 2000] и поэтому нашло отражение в таком издании, как «Экологический атлас России» [2003].

С этими экологическими аспектами перекликаются исследования антропогенной активизации процессов формирования пойменного наилка, связанные с усилением смыва почв в бассейнах рек и повышением бассейновой составляющей стока взвешенных наносов, приводящие к погребению пойменных почв (работы, главным образом, учёных Удмуртского и Казанского университетов: А.А. Перевощикова, Г.П. Бутакова, С.Г. Курбановой, обобщённые в специальной статье [Бутаков, Курбанова и др., 1998]). Одна-

ко эти работы касаются, в основном, пойм малых и, отчасти, средних (меньших среди них) рек. На средних и больших реках наличие погребённых почв связывалось с многовековыми естественными колебаниями стока воды и направленностью вертикальных русловых деформаций [Маккавеев, Чалов, 1970] за время формирования поймы (голоцен). Более строгие построения голоценовой истории развития пойм были выполнены несколько позднее с использованием методов палеогеографического анализа [Чернов, Гаррисон, 1981]. Это, а также то обстоятельство, что в рельефе пойм запечатлена история развития русловых деформаций за время её формирования, привело к оформлению на рубеже XX-XXI вв. палеорусловедения как самостоятельной ветви в исследованиях русловых процессов, позволяющих устанавливать соотношения между параметрами русел и показателями водности реки в период их формирования. Такой подход дал возможность, с одной стороны, реконструировать палеогидрологическую обстановку за голоцен и верхний плейстоцен, с другой – разрабатывать долгосрочные прогнозы трансформаций речных русел при глобальных изменениях природной среды и климата. Впервые на возможность подобных построений указывал Н.И. Маккавеев [Экспериментальная геоморфология, 1969], и его идеи нашли воплощение в работах А.Ю. Сидорчука и А.В. Панина [2000].

Выполненный историко-научный анализ исследований речных пойм касался русловых аспектов проблемы, рассматривающих пойму, как составную часть единой системы «пойма – русло» с соответствующей выборкой материала и публикаций. Тем не менее, для полноты представлений об изученности пойм нельзя не упомянуть капитальных трудов Г.В. Добровольского по пойменным почвам, работ Э.Е. Роднянской, Е.Ф. Пеньковской, П.Н. Рязанова о растительности и ландшафтах пойм, В.А. Николаева о рельефе Волго-Ахтубинской поймы, Е.Г. Еськова по инженерно-геологической оценке аллювия, слагающего поймы, а также многочисленных работ по оценке роли нефлювиальных факторов в их формировании: ветра, карста, биогенных процессов, речного льда и т.д. Но эти вопросы уже выходят за рамки проблемы русловых процессов или имеют к ней косвенное отношение.

Таким образом, 100-летний период исследований речных пойм как объектов науки о речном русле (русловедении) сопровождается формированием нескольких направлений и сопутствующих им проблем: 1) геоморфологическое, связанное с изучением рельефа пойм и устанавливающее его генетические связи с русловыми деформациями и эрозионно-аккумулятивными процессами при затоплении пойм; 2) гидрологическое, выявляющее закономерности гидрологического режима пойм и их роль в регулировании речного стока; 3) гидравлическое, рассматривающее пойму как элемент гидравлических сопротивлений, определяющих взаимодействие пойменного и русловых потоков и их транспортирующую способность; 4) русловое, в известной мере объединяющее первые три, но, с одной стороны, оценивающее пойму как фактор русловых процессов, а с другой – как его

производную, позволяющую восстанавливать эволюцию форм русла; 5) палеорусловое и палеогидрологическое, изучающее по рельефу и геологическому строению поймы историю развития русла за весь период образования поймы (голоцен и поздний плейстоцен) и определяющее соответствующие каждому этапу гидроклиматические условия; 6) литологическое, занимающееся изучением слагающего поймы аллювия (его состав, текстуру, мощность и т.д.), определяющее условия его формирования; 7) ландшафтно-индикационное, изучающее связь пойменных ландшафтов и их динамику с русловыми процессами и разрабатывающее на этой основе косвенные показатели направленности русловых деформаций; 8) экологическое, рассматривающее состояния пойм как природных объектов, определяющих жизнедеятельность людей и обитание биоты в естественных условиях и при воздействии на них и на русловые процессы хозяйственной деятельности; 9) комплексное, включающее в себя практически все перечисленные и дающее полное представление о речных поймах, с акцентами на тот или иной аспект в зависимости от поставленной цели. Наиболее близко к последнему находятся исследования пойм, выполняемые в Московском университете (Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева, кафедры гидрологии суши, геоморфологии и палеогеографии). Здесь они охватывают все направления из перечисленных, кроме третьего (гидравлического) и шестого (литологического). В Российском государственном гидрологическом университете (РГГУ) главными являются гидрологическое и гидравлическое, в меньшей мере русловое, направления; в Государственном гидрометеорологическом институте – геоморфологическое, гидрологическое и русловое. Среди других научных и учебно-научных организаций России, в которых проводятся или проводились в последние 2-3 десятилетия исследования пойм по тем или иным направлениям, выделяются Казанский и Удмуртский университеты, Московский педагогический государственный университет, Московский государственный педагогический университет, Российский государственный педагогический университет. К сожалению, этим перечень исчерпывается... И в настоящее время изучение речных пойм выполняется единичными исследователями и, как правило, на основе энтузиазма, не подкреплённого финансовым обеспечением.

ЛИТЕРАТУРА

Антроповский В.И., Барышников Н.Б., Саликов В.Г. Антропогенное воздействие на пойменные процессы // XIX пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: Белгород., 2004.

Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. Л.: Гидрометеиздат, 1984.

Барышников Н.Б., Польцина Е.В., Авдохина Н.А. Пойма – регулятор стока воды и наносов // Семнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Краснодар: 2002.

Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1988.

Беркович К.М. Русловой режим и строение аллювия рек средней Оби и Амударьи. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1970.

Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000.

Бутаков Г.П., Курбанова С.Г., Перевошиков А.А., Серебренникова И.А. Основные закономерности формирования антропогенно обусловленного наилка в долинах рек востока Русской равнины // Эрозия почв, охрана и рациональное использование земельных ресурсов. Ульяновск, 1998.

Великанов М.А. Русловой процесс. М.: Физматгиз. 1958.

Вильямс В.Р. Почвоведение. М.: Изд-во студентов Петровск. с/х академии, 1919.

Дмитриев А.М. Луга Холмогорского района. СПб, 1904.

Еленевский Р.А. Вопросы изучения и освоения пойм. М.: Изд-во Акад. с/х наук. 1936.

Железняков Г.В. Гидравлическое обоснование методов речной гидрометрии. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1950.

Злотина Л.В. Формирование и развитие пойменных геокомплексов верхней и средней Оби (на участках с различной устойчивостью русла). Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1989.

Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы. Томск: Изд-во Томск. ун-та. 1987.

Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В., Пиньковский С.И., Фёдоров Н.Н., Якунин И.А. Русловой процесс. Л.: Гидрометиздат, 1959.

Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат. 1982.

Маккавеев Н.И. О заносимости затонов и водных подходов к ним // Речная гидравлика и гидротехника. М.: Речиздат, 1951.

Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат, 1949.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955.

Маккавеев Н.И., Советов В.С. Трассирование землечерпательных прорезей на перекатах равнинных рек Европейской части СССР // Труды ЦНИИРФ. Вып. 3. 1940.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Некоторые особенности дна долин больших рек, связанные с периодическими изменениями нормы стока // Вопросы географии. Сб. 79. М.: Мысль. 1970.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: МГУ, 1986.

Орлянкин В.Н. Определение мощности руслового аллювия по аэро- снимкам вееров блуждания рек // Вопросы географии. Вып. 66. М.: Гео- графиз, 1963.

Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строитель- ство. Л.: Гидрометеиздат, 1965.

Скородумов Д.Е. Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с за- дачами построения и экстраполяции кривых расходов воды // Труды ГГИ, Вып.128, 1965.

Соколов Ю.Н. Гидравлические сопротивления на поймах равнинных рек. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. М.: ИВП АН СССР. 1991.

Сурков В.В. Динамика пойменных ландшафтов верхней и средней Оби. М.: Географ. ф-т МГУ, 1999.

Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: МГУ. 1979.

Чернов А.В. Геоморфология речных пойм. М.: МГУ, 1983.

Чернов А.В., Гаррисон Л.М. Палеогеографический анализ развития русловых деформаций широкопойменных рек в голоцене (на примере верх- ней и средней Оби) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. Том 56, Вып. 4, 1981.

Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Труды ин-та геол. наук АН СССР. Вып. 135, № 55, 1951.

Шукин И.С. Общая геоморфология. Том 1. М.: МГУ, 1960.

Экологический атлас России. М.: Карта, 2003.

Экспериментальная геоморфология. Вып.2. М.: МГУ, 1980.

О ТИПИЗАЦИЯХ И КЛАССИФИКАЦИЯХ РЕЧНЫХ ПОЙМ И ПОЙМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ²

Необходимым и обязательным этапом любого научного исследования является классификация объекта изучения – «разделение на группы предметов (явлений, процессов), однородных в каком-либо отношении» [Арманд, 1975, с.138]. Особенно это касается географии, отличающейся очень сложным, многокомпонентным и многофакторным предметом изучения. Именно в географии классификации выступают не только и даже не столько в качестве метода, но и целью научного исследования, так как именно они (наряду с районированием территории) являются основой проведения географического анализа распределения этих объектов по неоднородным территориям. Классификация есть наилучший способ обобщения и организации знаний об изучаемом объекте. Более того, она представляет собой структуризацию объекта исследования, позволяет выделить в нем целостные структурные образования (системы и подсистемы), определить место каждого из них в рамках объекта исследования и его роль в обеспечении существования последнего. Иными словами, именно классификация позволяет выделить в объекте изучения его предметы; без нее любой географический объект выглядел бы аморфным, неопределенным образованием. «Классификации позволяют проследивать в изучаемых явлениях определенный порядок, насыщать конкретным содержанием различного рода понятия и термины, относящиеся к объекту изучения, облегчают сравнительное изучение родственных объектов, подытоживают знания о сходстве и различиях, в том числе о генетическом родстве географических явлений и процессов. Классификации позволяют изучать сравнительно немногочисленные типы вместо громадного количества индивидуальных объектов» [Арманд, 1975, с. 139, 140].

Наряду с понятием классификация для обозначения процесса и результата системных обобщений информации об объекте исследования выделяются типизации. Если классификацией является максимально полная система соподчиненных понятий, иерархически построенных в соответствии с существующими между ними причинно-следственными связями, то под типизацией обычно понимают упрощенные, неполные классификации, в которых включены не все возможные объекты на данной ступени классификации, а только те, которые фактически отвечают поставленным целям и

² Выполнено по гранту Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-1443.2003.3 и программы «Университеты России» проект УР.08.02.593/05).

задачам, часто прикладного характера. Очевидно, что типизации также имеют иерархическое строение, а типизируемые объекты имеют внутренние связи и соподчинены между собой.

Представляется, что любой объект исследования может быть систематизирован только после накопления достаточного (не менее 70-80 % от возможного) объема информации о нем; до этого обобщения о его структуре, связях и особенностях функционирования проводятся на уровне различного рода схематизаций. Длительное изучение пойм специалистами различных направлений уже давно позволило накопить необходимую для такой систематизации информацию, но разные цели и задачи, которые стояли перед этими направлениями, обусловили большое разнообразие подходов к содержанию этих классификаций. В качестве критериев, по которым проводились классификации пойм в СССР и России, были геоморфологические (рельеф), гидрологические (гидрологический режим пойм), почвенные, геоботанические, ландшафтные, экологические.

Вместе с тем, если рассматривать развитие пойменных классификаций в их историческом разрезе, то можно проследить определенную закономерность в изменении критериев классификаций и типизаций речных пойм и их прикладных задач. На первых этапах изучения пойм составлялись в основном, типизации форм пойменного рельефа, посвященные какому-либо одному признаку (свойству) пойменной поверхности или разделение этой поверхности на части по этим признакам. Классификационные признаки выбирались в зависимости от требований, предъявляемых к поймам со стороны того или иного пользователя её ресурсов. По мере накопления знаний о поймах возникла необходимость их обобщения и структурирования с целью получения объективного и всестороннего представления об их происхождении, развитии и особенностях географического распределения по территориям. Наконец, на современном этапе изучения пойм поймоведение, наряду с продолжающимся обобщением информации в общих классификациях, вновь вернулось к прикладным типизациям и классификациям, проводимым по критериям, отражающим состояние и востребованность тех или иных пойменных ресурсов.

В первой половине XX в. наибольшее внимание речным поймам в России уделяли геоботаники и почвоведы: упоминания о происхождении и структуре пойм встречаются в работах В.Н.Сукачева, Л.И.Прасолова, К.К.Гедройца, Б.Б.Полынова, В.Р. Вильямса. Поэтому первые типизации пойм были построены на критериях, так или иначе отражающих условия произрастания растительных сообществ. В начале XX в. луговед А.М. Дмитриев впервые разделил пойму (пойменный массив) на три зоны: прирусловую, центральную и притеррасную; вслед за ним подобное членение поймы провел В.Р. Вильямс, давший ему теоретическое обоснование. Подобный подход был оправдан с точки зрения использования сельскохозяйственных ресурсов поймы, поскольку урожайность трав, других культур, состояние пастбищ зависит от близости к современному руслу.

В 30-х гг. XX столетия появилась первая обобщающая классификация пойм, составленная Р.А.Еленевским [1936]. В её основу впервые в полном объеме положено представление о пойме как о продукте деятельности речного русла. Вместе с тем, в то время ещё не были разработаны представления о формировании поймы в процессе русловых деформаций, и ведущая роль в формировании рельефа пойменной поверхности отводилась потоку полных вод. Поэтому в классификации Р.А.Еленевского произошло смешение критериев классификации. Например, при выделении пойм по признаку их генезиса в одном ряду стоят гривистые и обвалованные поймы, хотя происхождение пойменных грив и наложенных прирусловых валов, а следовательно, и видов пойм разное: первые образуются непосредственно в процессе русловых деформаций, вторые возникают при затоплении пойм полными водами. Некорректным также оказалось сравнение пониженно-равнинных пойм (выделенных не столько по рельефу, сколько по относительной или абсолютной высоте) с таёжно-аласными, характеризующимися ландшафтными признаками.

Это послужило основанием для критики классификации Р.А.Еленевского последующими исследователями. Тем не менее, указанные недостатки продолжали появляться и в их работах. Так, Е.В.Шанцер [1951], создавая свою теорию происхождения речных пойм в процессе горизонтальных русловых деформаций, предложил разделять поймы равнинных рек на две большие группы: сегментные поймы меандрирующих рек и обвалованные поймы слабоизвилистых рек вместе с переходным типом параллельно-гривистых пойм рек с прямолинейными руслами. Очевидно, что эта классификация отличается неполнотой (совсем нет пойм разветвленных рек) и некорректностью в части сравнения сегментных (по первичному рельефу) и обвалованных (по половодному рельефу) пойм. Тем не менее, именно она приводится сейчас в основной учебной геоморфологической литературе (учебники И.С.Щукина, О.К.Леонтьева и Г.И.Рычагова и др.) [Чернов, 2002].

Неполнота классификации пойм Е.В.Шанцера заставила исследователей искать способы более адекватного отображения различных реально существующих форм рельефа и особенностей строения пойм, их соподчинения и связи с факторами их происхождения.

И.В.Попов [1965], решая эту проблему, пошел по пути придания различным таксонам классификации Р.А.Еленевского генетического «руслового» содержания. Для этого ему пришлось создать сложную систему связи разновидностей пойм, выделенных Р.А. Еленевским, с типами русловых процессов, предложенных ГГИ [Кондратьев, Ляпин и др., 1959]. Вслед за Р.А.Еленевским он рассматривает группы современных и унаследованных пойм. Современные делятся на подгруппы пойм меандрирующих рек и островных пойм многорукавных рек. Далее, в схеме И.В.Попова в каждой подгруппе перечисляются разновидности пойм, выделенных Р.А.Еленевским. Так, подгруппе меандрирующих рек с ограниченным меандрированием соответствуют овражно-дельювиальная, скрыто-гривисто-болотная и таёжно-

аласная поймы, для свободно-меандрирующих рек с песчаным аллювием – песчано-, ступенчато- и останцово-гравистая поймы и т.д. При подобном подходе - объединении двух совершенно различных разработок, не устраняется главный недостаток классификации пойм Р.А.Еленевского – невыдержанность ее критериев на каждой ступени классификации, отчего соединение разновидностей пойм и типов русловых процессов оказалось искусственным, и связи разновидностей пойм с типами русел – необоснованными.

Иной подход к классификации пойм предложен Р.С.Чаловым и А.В.Черновым [Чернов, 1983; Чалов, Чернов, 1985]. Она имеет геоморфологическую направленность, в ней реализуется положение о единстве русла и поймы. Из него следует, что каждый тип поймы рассматривается, как результат определенного вида русловых деформаций и соответствует определенному морфодинамическому типу русел. При таком подходе классификация речных пойм базируется на морфодинамической классификации речных русел и типизации русловых деформаций, составленной Р.С.Чаловым (1996); в ней классифицируются не только типы русел, но и виды русловых деформаций, их создающие. Эти же виды деформаций создают и поймы; следовательно, именно данная классификация русел подчеркивает генетическое единство русел и пойм и декларирует русловые процессы как важнейший фактор поймообразования. Вместе с тем, положение пойм между руслом и остальными («сухопутными») частями долины заставило учесть в пойменной классификации не только первичный рельеф, как следствие проявлений русловых процессов, но и результаты деятельности иных гидрологических и геоморфологических факторов. Важнейшими из них являются эрозионно-аккумулятивная деятельность потока половодья на пойме, вертикальные русловые деформации, некоторые нефлювиальные процессы и хозяйственная деятельность. Все указанные группы поймообразующих факторов должны найти отражение в классификации, претендующей на полноту отображения явления. Однако между ними нет жестких связей, и смешивание их в единой классификационной схеме, пусть даже на разных уровнях, привело бы к нарушениям принципов классифицирования природных явлений.

Выход был найден в такой структуре классификации, которая представляет собой систему взаимосвязанных блоков, каждый из которых содержит свою частную классификацию по влиянию на поймы определенной группы поймообразующих факторов (табл. 1). Выделяется пять блоков, обладающих различными классификационными критериями: в первом в качестве классификационного признака выступают формы первичного рельефа, во втором - рельеф, созданный потоками половодья, в третьем - особенностям рельефа, связанным с проявлением в рельефе пойм вертикальных русловых деформаций, в четвертом – формы рельефа нефлювиального генезиса, и в пятом – антропогенного происхождения. Обращает на себя внимание независимость частных классификаций – разные причины приводят к разным морфологическим следствиям.

Геоморфологическая классификация пойм Р.С.Чалова и А.В.Чернова сыграла свою определенную роль в оформлении представлений о возникно-

влении и развитии речных пойм на реках с руслами различных морфодинамических типов. Она послужила основой для составления легенд общих русловых мелкомасштабных карт как на территорию бывшего СССР и его Европейской части, так и на отдельные регионы (Алтайский край и республика Алтай, Ханты-Мансийский АО). Она послужила основой для районирования крупных территорий по особенностям распространения речных пойм и, как следствие, легла в основу проведения географического анализа распространения речных пойм по крупным и неоднородным в географическом отношении территориям.

Таблица 1

**Структура геоморфологической классификации речных пойм
(по Р.С.Чалову и А.В.Чернову, 1985)**

Блок А	Блок Б	Блок В	Блок Г	Блок Д
Типы пойм, различающиеся по первичному рельефу, обусловленному горизонтальными русловыми деформациями	Виды пойм, различающиеся по выраженности и особенностям расположения форм пологоводного рельефа	Группы пойм, различающиеся по рельефу, обусловленному вертикальными русловыми деформациями	Разновидности пойм, различающиеся по нефлювиальному рельефу природного происхождения	Разновидности пойм, различающиеся по нефлювиальному антропогенному рельефу

Однако, обладая общим геоморфологическим содержанием, раскрывающим происхождение той или иной формы рельефа на пойме, эта классификация не отвечает ряду прикладных вопросов, связанных с использованием ресурсов поймы и вызванным им изменением экологического состояния пойм. Поэтому в последующем, используя основные положения о происхождении и развитии пойм, отраженные в общей геоморфологической классификации пойм, были составлены различные прикладные типизации пойм и пойменных процессов.

Основные виды использования пойм (пойменные ресурсы) следующие: распашка под овощные и злаковые культуры, пастбища и сенокос, рекреационное использование (создание гидропарков), разработка пойменных карьеров полезных ископаемых, прокладка по поймам коммуникаций, мелиорация пойм, строительство на них промышленных и коммунальных объектов [Беркович и др., 2000].

В любом случае сельскохозяйственное и рекреационное использование пойм основываются на эксплуатации её ландшафтов (либо выявлении среди них и последующем преобразовании наиболее пригодных для выращивания культур или обеспечения кормовой базой, либо для обустройства зон отдыха). Следовательно, оказались необходимыми классификации (типизации) пойменных ландшафтов, которые можно положить в основу разработки схем использования пойменных ресурсов, составления по ним легенды карт их распространения и вариантов их оптимального использования. Эти типизации должны учитывать и рельеф пойм различного генезиса, и высоту поймы над меженным уровнем воды, и условия ее затопления – длительности, глубины и частоты, которые часто характеризуются комплексным понятием «поёмность». Поэтому в любой ландшафтной классификации одним из ведущих критериев выделения того или иного ландшафта является его высота над меженным урезом воды. Именно она лежит в основе разделения каждого пойменного массива на три пойменные зоны: самую высокую – прирусловую, среднюю – центральную и пониженную – притеррасную. Высота является ведущим критерием и в разделении пойменных массивов на молодые (низкие), и старые (высокие). В последней типизации большую роль в формировании тех или иных ландшафтов играет возраст участков поймы.

Подробный обзор типизаций пойм, основанных на их относительной высоте, дал в свое время И.Б.Петров [1979]; он называл такие типизации и классификации эколого-геоморфологическими, подчеркивая важность зависящих от высоты условий затопления поймы для экологической характеристики пойменных местообитаний биоты. Можно привести два примера применения типизаций пойм, основанных на высоте ее отдельных частей, при ландшафтном анализе пойм. Так, в классификации ландшафтов поймы нижнего Днестра, составленной Л.В.Злотиной и А.В.Черновым, высота различных участков пойм учитывалась на уровне таксонов высшего ранга: здесь выделялись все те же три группы пойм: прирусловые, центральные и притеррасные (табл. 2). На более низких таксонах применялись иные критерии: подгруппы пойм выделяются по сочетанию морфологического облика пойм (плоские – волнистые) и их механического состава (супесчаные – суглинистые); на еще более низких уровнях поймы разделяются по составу пойменных почв и характеру пойменной растительности. Классификация составлена в матричной форме, что позволяет выделить среди всего множества вариантов наиболее значимые, т.е. реально встречающиеся на Днестре сочетания различных групп, подгрупп, видов и разновидностей пойм.

Анализируя природные ландшафты о-вов Волги на участке переменного подпора Куйбышевского водохранилища, В.И.Мозжерин и А.В.Чернов [2002] выяснили, что до создания этого водохранилища на формирование рельефа и ландшафтов волжской ложбинно-островной поймы оказывали влияние в первую очередь: а) высота поймы относительно меженного уреза, б) – связанная с ней длительность и обеспеченность затопления поймы; в)

Таблица 2

Классификация пойм нижнего Днестра

Таблица 3

Морфо-гидрологическая классификация поймы Средней Волги до ее затопления водами Куйбышевского водохранилища (по В.И.Мозжерину и А.В.Чернову, 2002)

Положение по отношению к руслу	Высота над меженным уровнем, м	Обеспеченность затопления, %	Длительность затопления, дни	Относительный (абсолютный) возраст	Краткая геоморфологическая (и ландшафтная) характеристика.
Прирусовая	8,5	91	29	Молодая (менее 1000 лет)	Грядовый и бугристый рельеф, понижения заполнены водой, поверхность опесчанена, пойменная фация и почвенный покров развиты слабо; растут ивы и ивовые леса, часто образующие непроходимые заросли.
Прирусовая	11	35	8	Зрелая (от 1000 до 10000 лет)	Грядовый (сегментно-грядистый, ложбинно-островной и др.) рельеф: узкие гряды или широкие каплевидные гряды чередуются с понижениями и ложбинами. Поверхность бугристая, опесчаненная, но между буграми - супесчано-суглинистая. Почвы дерново-слоистые, луг, кустарники.
Центральная и тыловая	7-9	90-92	32	Зрелая (от 1000 до 10000 лет)	Грядовый рельеф - преобладают гряды и ложбины, поверхность увлажнена, иногда избыточно; часто встречаются старицы; сложена суглинками, иногда оглеенными, торфяниками. Заболоченные луга, кустарники, разреженные леса.

В.В.Сурков [1999] провёл типизацию пойменных массивов по гидрологическим условиям формирования пойменных урочищ; всего им выделено

пять видов режимов формирования ландшафтов: проточный, слабопроточный, умеренный, слабозастойный, застойный. Очевидно, что каждый из этих режимов реализуется в одну из фаз затопления поймы, наиболее типичен для одной из пойменных зон и определяет свой набор пойменных ландшафтов.

Не менее важным фактором формирования естественных пойменных ландшафтов, чем высота поймы и скорость пойменного потока, является пойменный рельеф: он влияет на набор природно-территориальных комплексов топологического уровня и их распределение в пределах каждого пойменного массива. В классификациях пойменных ландшафтов блок рельефа берется, как правило, из обобщающих геоморфологических классификаций пойм – уже упоминавшихся классификаций пойм Р.С.Чалова и А.В.Чернова [1985] и И.В.Попова [1965]. Однако и они модифицируются для целей конкретных прикладных классификаций. Таков, например, таксон подгрупп в типизации поймы нижнего Днестра, содержащий информацию о геоморфологической основе её ландшафтов (геокомплексов); здесь характеристики рельефа объединены с литологическими характеристиками поймы (табл. 2).

При конкретизации видов использования пойменных ресурсов составляются более специализированные типизации и классификации пойм, сокращается охват классифицируемых признаков и их диапазон. Так, распашка пойм может дать ожидаемый экономический эффект и не повлечь за собой ухудшения экологического состояния пойменно-руслового комплекса только в случае учета: а) высоты поймы; б) ее строения; в) условий прохождения руслоформирующих расходов воды. Причем в данном случае все эти характеристики влияют не на почвенно-растительные компоненты ландшафта (последние определяются здесь агрикультурными задачами), а на условия их сохранения при затоплении.

Л.В.Злотина и В.В.Иванов [1996] установили, что на устойчивость пойменных почв к размыву при распашке влияет сочетание их механического состава и условий прохождения руслоформирующих расходов воды (табл. 4). В данной типизации, составленной по матричному принципу, все поймы по механическому составу пойменной фации аллювия делятся на две большие группы: А - с преобладанием аллювия тяжёлого механического состава; Б - с преобладанием аллювия лёгкого механического состава. Каждая из этих групп, в свою очередь, делится на подгруппы по сочетанию длительности затопления пойм в днях и обеспеченности значений руслоформирующих расходов воды (Q_{ϕ}), проходящих при затопленной пойме: длительность затопления меньше одних суток и обеспеченность верхнего интервала Q_{ϕ} менее 0,5% (подгруппа 1); длительность затопления поймы от одних до десяти суток и обеспеченность верхнего интервала Q_{ϕ} 0,5-1,0 % (подгруппа 2); длительность затопления более 10 суток и обеспеченность верхнего интервала Q_{ϕ} более 1 % (подгруппа 3). В отдельную подгруппу - 4 выделяют поймы рек, на которых руслоформирующие расходы воды проходят ниже бровок средних по высоте (зрелых) пойм.

Таблица 4

**Типизация пойм по условиям размываемости их
поверхности полыми водами (по Л.В.Злотиной
и В.В.Иванову, 1996).**

Характеристика пойм	Условия прохождения руслоформирующих расходов воды						Ниже пойменных бровок
	Выше пойменных бровок						
	Обеспеченность Q_{ϕ} в %	Длительность затопления в днях	Обеспеченность Q_{ϕ} в %	Длительность затопления в днях	Обеспеченность Q_{ϕ} в %	Длительность затопления в днях	
	< 0,5	< 1	0,5-1,0	1-10	>1	>10	
С преобладанием аллювия тяжёлого механического состава	Очень устойчивые		Очень устойчивые		Относительно устойчивые		Очень устойчивые
С преобладанием аллювия лёгкого механического состава	Среднеустойчивые		Слабоустойчивые		Неустойчивые		Относительно устойчивые

Каждая подгруппа пойм оценивается с позиций устойчивости ее поверхности к размыву потоком половодья (паводков). Если Q_{ϕ} проходят только ниже пойменных бровок, т.е. пойму лишь ненадолго затопливает весьма маломощный поток, то распаханная пойменная поверхность является устойчивой к размыву во время половодья при любом составе пойменной фации аллювия. При прохождении Q_{ϕ} при затопленной пойме литологический фактор выходит на первый план: если пойменные почвы сложены тяжелыми, трудноразмываемыми суглин-

ками, то они и при распашке не будут полностью смыты потоком половодья, и их плодородие в той или иной мере сохранится. Но если материнские породы почв представлены легкими суглинками, супесями или, тем более, песками, поток половодья смывает распаханый почвенный слой.

При использовании кормовых и рекреационных ресурсов пойм оцениваются также такие их характеристики, как доступность, которая может быть выражена в степени пересеченности рельефа, и увлажнение. Первый показатель вполне может быть охарактеризован с помощью геоморфологической классификации пойм, второй – на основании ее высотных характеристик и удаленности от современного русла, отраженных в пойменных зонах.

Использование минерально-сырьевых ресурсов пойм требует оценки, во-первых, возраста пойм и, во-вторых, мощности пойменной фации аллювия. Наиболее распространена для этих целей типизация пойм по возрасту: разделение их на молодые, зрелые и древние. Первые имеют возраст (в гумидном умеренном поясе) в пределах первой тысячи лет, вторые – от 500 до 8-9 тыс. лет, а третьи – древнее климатического оптимума голоцена; среди них могут быть даже реликтовые поймы, созданные флювиогляциальными потоками [Сидорчук и др., 2000]. Общее возрастное разделение пойм не указывает прямо на содержание полезного компонента в них, но на каждой конкретной реке в зависимости от геологической истории ее бассейна, определяет его приуроченность к той или иной возрастной генерации.

Пойменная фация аллювия, как правило, не содержит полезного компонента и поэтому относится к густой породе – её мощность определяет объем вскрышных работ, а отсюда и экономическую целесообразность добычи ископаемых. По этому признаку классификации проводятся на качественном уровне в различных (определяемых для каждой реки и каждого полезного компонента) градациях мощности (маломощная, средняя по мощности, мощная, очень мощная).

При осушительных мелиорациях и строительстве коммуникаций ведущими факторами, влияющими на сохранность этих сооружений и эффективность их работы, являются пойменный рельеф и особенности затопления поймы (поёмность). Характер пойменного рельефа, особенно первичной его составляющей, определяет направление и ориентировку линейных сооружений на пойме при большой глубине и высокой скорости затопления. Поэтому гидромелиоративная и коммуникационная оценка пойм проводится с помощью геоморфологических классификаций пойм (выделяются сегментно-островные, проточно-грядистые и пр. поймы) и типизации по условиям затопления, проводимой либо по Р.А.Еленевскому (долгопоёмная, краткопоёмная и т.п.), либо по условиям прохождения руслоформирующих расходов воды (над затопленной поймой или ниже её бровок).

Довольно простую гидроморфологическую типизацию предложил Е.С.Марков [1973], оценивая поймы с точки зрения возможности их осушения (табл. 5). По особенностям первичного рельефа (природным условиям по его терминологии) все поймы разделены им на древнеозерные и понижено-равнинные, причем в последнюю группу включаются все современные (не унаследованные) поймы. На следующем уровне типизации принцип единого основания деления не выдерживается, так как, на разных группах пойм важными с точки зрения подходов к осушению являются разные характеристики пойм.

Таблица 5

Гидроморфологическая типизация заболоченных пойм для целей их осушения (по Е.С.Маркову, 1973).

Критерий выделения	ГРУППЫ И ТИПЫ ПОЙМ					
	Древнеозёрные				Понижено-равнинные	
По происхождению (природным условиям).						
По типу водного питания	с аллювиальным питанием	с грунтовым питанием	с грунтово-напорным питанием	с намывным делювиальным питанием	продолжительно затопляемые	подтопляемые

На древнеозерных поймах, зачастую отличающихся невысокой поемностью (из-за того, что они оказались поймой как бы случайно) в качестве критерия, по которому разделяются типы, выступает тип водного питания: древнеозерные поймы делятся по этому признаку на поймы с аллювиальным, грунтовым, грунтово-напорным и намывным делювиальным питанием. Пониженно-равнинные поймы, в понимании Р.А.Еленевского, разделяются на типы по признаку поёмности: продолжительно затопляемые (долгопоёмные) поймы и подтопляемые (краткопоёмные) поймы; в последнем случае длительность затопления собственно поймы небольшая, но зато велика продолжительность стояния воды под самыми бровками поймы, что вызывает высокое положение уровня грунтовых вод на пойме.

Некорректность данной классификации, выражающаяся в допущении существования типов пойм, не входящих ни в один ее таксон, вполне объясняется ее конкретными прикладными задачами, когда поймы, не нуждающиеся в мелиорации, вообще не включаются в классификацию. Вместе

с тем, эта некорректность ограничила ее применение и в мелиорации, так как в различных районах осушению или орошению могут подвергаться разные типы пойм, не вошедшие в эту типизацию и даже не находящие себе логическое место в ней.

Попытку связать геоморфологическую классификацию пойм со временем существования и направленностью развития пойменных массивов, которые, по мнению автора, влияют на поймность и другие мелиоративные характеристики пойм, предпринял на примере Обь-Иртышской поймы И.Б.Петров [1979] (табл.6). Его типизация проводится по трем уровням – на первом из них поймы выделяются по геоморфологическому признаку, в данном случае, по своей принадлежности к руслу того или иного морфодинамического типа (по классификации ГГИ), на втором – по возрасту пойменных массивов, на третьем – по структуре первичного рельефа и конфигурации пойменного массива, направленности его развития (формируется или размывается) и т.д. В итоге на первом уровне типизации рассматриваются пойменные массивы, возникшие при свободном меандрировании, незавершенном меандрировании и русловой многорукавности; каждая группа типов пойменных массивов, в свою очередь, делится на подгруппы по возрасту (здесь отражающему относительную высоту поймы, а, следовательно, и условия затопления). Внутри подгрупп выделяются типы пойменных массивов: гомогенные (полноразвитые), гетерогенные (т.е. сформированные в разное время при развитии разных излучин). Вместе с тем на этом же уровне типизации поймы разделяются и по первичному рельефу (островные, озерно-старичные, крупногрядистые, сорово-озерные), по половодному рельефу (обвалованные), по наличию пойменной многорукавности и т.д. Иногда типы массивов делятся в одном ряду на подтипы: полноразвитые, прерванного развития, усеченные.

Очевидно, что на уровне типов типизация пойменных массивов И.Б.Петрова превращается в простое перечисление всего разнообразия имеющихся на Обь-Иртышской пойме массивов, которые попутно оцениваются с точки зрения необходимости проведения на них осушительных мелиораций. Нарушение принципа единого основания деления на каждом уровне классификации сделало типизацию пойменных массивов И.Б.Петрова весьма громоздкой и представляющей по существу региональное описание различных пойменных массивов Оби и Иртыша.

В последние десятилетия особым направлением в изучении пойм стало экологическое, рассматривающее экологическое состояние речных пойм на различных реках и его изменения при антропогенном воздействии. Соответственно, возникла потребность в классификации экологических состояний пойм, их оценке с позиций возникновения экологической напряженности. В общем виде экологическое состояние пойм определяется условиями их затопления и воздействием на них потоков с различными характеристиками.

Таблица 6

**Гидроморфологическая типизация пойменных массивов
Обь-Иртышской поймы (по И.Б.Петрову [1979])**

Критерий Выделения	ПОЙМЕННЫЕ МАССИВЫ							
По типу русло- вых дефор- маций	при свободном и адаптированном меандрировании русла				при незавершенном меандрировании, пойменной многорукавности и вторичной гидросети			При пойменной и русловой многорукавности со вторичной гидросетью
По возрас- ту	современ- ные	зрелые		старые	совре- мен- ные	зре- лые	ста- рые	по воз- расту не разделя- ются
По структуре, первичному рельефу, истории, направленности развития								
	</							

Считается, что поймы, покрываемые водой на длительное время (до 3-х мес.), на большую глубину и пропускающие поток половодья со скоростями выше 0,5 м/с, экологически неблагоприятны, так как такие ус-

ловия затопления, во-первых, препятствуют использованию практически всех пойменных ресурсов, а во-вторых, усиливают энтомологическую опасность. Следовательно, к группе экологических классификаций можно отнести раздел классификации пойм Р.А.Еленевского, в котором поймы делятся по признаку условий затопления.

Экологическим смыслом наполняется и разделение пойм на зоны. Наиболее благоприятной для использования в сельскохозяйственном отношении является центральная зона поймы. Прирусловая зона сильно опесчана, она хороша для отдыха, но малопригодна для ведения сельского хозяйства; к тому же, она наиболее уязвима к размыву рекой. Притеррасная зона малопригодна для использования, а из-за своей переувлажненности является рассадником комаров и других кровососущих насекомых.

Вместе с тем изучение экологии пойм потребовало создания специальных геоэкологических классификаций, которые могли бы структурировать весь спектр экологических состояний речных пойм. Интегральная типизация экологических состояний пойм, выраженных через различную степень экологической напряженности на поймах, была создана в МГУ (табл. 7) [Беркович и др., 2000].

Антропогенная экологическая напряженность возникает на поймах в результате различных видов воздействия человека, имеющих совершенно разные механизмы этого воздействия, чаще всего не описываемые количественно и потому не сравнимые между собой. Единственным способом обобщить влияние разнообразной деятельности человека на экологическое состояние пойм является оценка в единой шкале баллов всех видов экологической напряженности. Минимальная экологическая напряженность соответствует 0 баллов, максимальная – 5 баллам. В табл. 7 приведена типизация пойм по их антропогенной экологической напряженности, в которой эта напряженность оценивается в баллах, а также приводятся причины ее возникновения.

Следует упомянуть и о еще одной классификации пойм, претендующей на обобщающую информацию о поймах – энергетической, широко распространенной в странах запада. Энергетический принцип, который положен в основу классификации пойм Г.К.Нансена и Дж.К.Кроке [Nanson, Stoke, 1992], хотя она и носит название генетической, совершенно не похож на используемый в России принцип дерева логических возможностей. В качестве классификационных признаков здесь применяются такие характеристики, как общая мощность потока, удельная мощность потока и крупность русло- и поймообразующих наносов. По мнению авторов, общая мощность расходуется на эрозию и транспорт наносов, тогда как удельная мощность влияет конкретно на горизонтальные русловые деформации: размыв берегов и формирование аккумулятивных форм руслового и пойменного рельефа. Соотношение удельной мощности потока и крупности руслообразующих наносов и определяет, в конечном итоге, морфологию поймы.

Типизация пойм по их экологической напряженности, связанной с антропогенной деятельностью

Типы экологической напряженности пойм, баллы	Измененность (механическая) пойменных ландшафтов в связи с сельскохозяйственным использованием, характеристика пойм, баллы	Уменьшение за-топленности в нижних бьефах гидроузлов и в районах разра-ботки русловых карье-ров		Подтопление и забо-лачивание в зонах перемен-ного подпора и выше водохранилищ, в связи с обводнительной мелиораци-ей
		на урбанизированных участ-ках и в районах добычи полез-ных ископаемых, характери-стика	неизмененные	
отсутст-вует - 0 баллов	неизмененные		неизмененные	отсутствует
очень слабая - 1 балл	очень слабая (обеднение видового состава растительности, локальная деградация почв и из-менение рельефа)	очень слабая (отдельные ком-муникации и строения)		появление первичных при-знаков
слабая - 2 балла	слабая (раскорчевка лесов, час-тичная распашка, выравнивание первичного рельефа)	олабая (частичная застройка, прокладке коммуникаций)	слабое	слабое
средняя - 3 балла	средняя (распашка с планирова-нием рельефа, частичное обвалование)	средняя (частичный намыв и обвалование; отдельные карьеры, коммуникации)	среднее	среднее
сильная - 4 балла	сильная (сплошная распашка, планирование рельефа, полное обвалование; мелиорация, при-ведшая к иссушению поймы)	сильная (то же с полным обжа-лованием, расположением очистных сооружений)	сильное	сильное
счень сильная - 5 баллов		полная (намыв и застройка, сплошные карьеры, массовые коммуникации, свалки мусо-ра...)	очень сильное	очень сильное

При составлении классификации вся совокупность показателей мощности потоков ранжируется по трем уровням: высоко-, средне и низкоэнергетическому. Первые два уровня обуславливают преобладание в составе пойменной фации аллювия рыхлых легкоразмываемых наносов (песчано-супесчаных), низкоэнергетический – суглинистых пород, размываемых хуже. Эти уровни легли в основу выделения трех классов пойм: А – высокоэнергетические поймы, встречающиеся в верховьях рек (удельная мощность потока $\omega > 300 \text{ w/m}^2$), В – среднеэнергетические поймы, типичные для большей части широкопойменных деформируемых рек ($\omega = 10\text{-}300 \text{ w/m}^2$) и С – низкоэнергетические поймы, характерные для устойчивых в плане широкопойменных рек, в том числе малых. Энергетические классы пойм подразделяются на порядки по целому набору признаков: ограниченных и свободных условий развития русловых деформаций, вида вертикальных русловых деформаций, типа горизонтальных русловых деформаций. Выделяются следующие порядки:

А-1 – поймы узкие, сложенные грубообломочным материалом (русловая фация);

А-2 – поймы узкие, сложенные песчаным аллювием (русловая фация);

А-3 – поймы широкие, сложенные песчаным аллювием (русловая фация);

А-4 – наложенные поймы.

В-1 – поймы разветвляющихся рек;

В-2 – поймы меандрирующих рек с гравийно-галечным аллювием;

В-3 – поймы интенсивно меандрирующих рек (сегментные) с песчаным аллювием.

С-1 – поймы относительно прямолинейных рек, выровненные;

С-2 – поймы супесчано-суглинистые выровненные.

Порядки, в свою очередь, делятся на подпорядки по особенностям перестроиваний аккумулятивных форм руслового рельефа (кос), степени зарастания русел и торфонакопления на поймах. Например, поймы В-3 делятся на подпорядки: В-3а – поймы сегментные ровные, В-3в – сегментно-грядистые поймы, В-3с – поймы сегментные заболоченные, В-3д – поймы сегментные с противотечениями во время половодий и паводков.

В результате, классификация представлена классами, порядками и подпорядками, в которых происходит выделение пойм по ряду характеристик, зачастую не связанных между собой: скорости размыва, механизму образования, составу пойменной и русловой фации аллювия и даже уровню заболоченности.

Нарушение принципа сохранения единого классификационного признака на каждой ступени классификации, а также трудоемкость определения мощности потока на пойме не позволяют применять эту классификацию для решения разнообразных практических задач, а также для проведения географического анализа с целью изучения географических закономерностей распределения речных пойм. Следует отметить, что даже терминологически эта классификация плохо сопоставима с российскими – для названий большинства морфологических типов пойм, используемых в последних, в английском языке нет аналогов.

Таким образом, составление классификаций и типизаций пойм представляет собой вполне действенный метод познания особенностей их распределения и функционирования в различных природных условиях, в том числе и под воздействием хозяйственной деятельности. Об этом свидетельствует то, что почти все прикладные направления изучения пойм, связанные с использованием пойменных ресурсов и их экологическим состоянием, обладают собственными типизациями и классификациями пойм, структурирующими те их свойства и качества, которые используются в данном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

- Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. М.: Мысль. 1975.
- Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
- Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000.
- Еленевский Р.А. Вопросы изучения и освоения пойм. М. 1936.
- Злотина Л.В., Иванов В.В. Устойчивость пойм рек ЕТР к антропогенным нагрузкам // Проблемы оценки экологической напряженности Европейской территории России: факторы, районирование, последствия. М.: Изд-во МГУ, 1996.
- Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В., Пиньковский С.И., Федоров Н.Н., Якунин И.И. Русловой процесс. Л.: Гидрометеиздат, 1959.
- Марков Е.С. Мелиорация пойм нечерноземной зоны. М.: Колос, 1973.
- Мозжерин В.И., Чернов А.В. Геоморфология и гидрологический режим островов // Экологические системы островов Куйбышевского водохранилища. Казань: ФЭН, 2002.
- Петров И.Б. Обь-Иртышская пойма. Новосибирск: Наука, 1979.
- Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1965.
- Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Чернов А.В. Сток воды и морфология русел рек Русской равнины в позднеледниковое время и в голоцене (по данным палеоруслового анализа) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 12. М.: Изд-во МГУ, 2000.

Сурков В.В. Динамика пойменных ландшафтов верхней и средней Оби. М.: Географ. ф-т МГУ, 1999.

Чалов Р.С., Чернов А.В. Геоморфологическая классификация пойм равнинных рек // Геоморфология.: 1985, № 3.

Чернов А.В. Изучение флювиальных процессов в педагогических вузах // Проблемы эрозионных и русловых процессов в учебных курсах вузов. Арзамас: Изд-во АГПИ, 2002.

Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит / Труды Геол.ин-та АН СССР. Сер. Геол, вып. 135. 1951.

Nanson G.C., Croke J.C. A genetic classification of floodplains / Floodplain Evolution // Geomorphology. Т.4, № 6, 1992.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЙМЕННО-РУСЛОВЫХ КОМПЛЕКСОВ РЕК В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ЗОНАХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Пойменно-русловые комплексы (ПРК), представляющие собой определенный набор элементов поймы и русла и характеризующие внешний облик реки, по существу являются ничем иным, как макроформами (большими речными формами), выделенными в гидролого-морфологической теории ГГИ и положенными в основу типизации русловых процессов [Антроповский и др., 2003]. Каждому типу русловых процессов (типу макроформ - типу пойменно-русловых комплексов) соответствует свое сочетание характеристик определяющих факторов: стока воды, наносов и ограничивающих условий. Ограничивающие условия в основном определяются размерами, уклоном дна долины и характером грунта на ее дне (выходами неразмываемых горных пород, наличием местных базисов эрозии, базального горизонта и т.п.).

Зональные особенности в строении долин Русской равнины обусловлены рельефообразующими процессами неоген-четвертичного времени (палеозональность) и современными экзогенными процессами (голоценовая зональность). Зональность долинообразования предопределена изменением условий формирования долин с севера на юг и выражается в наличии на Русской равнине трех зон долинообразования с подзонами, в каждой из которых долины характеризуются вполне определенными морфологическими особенностями и своеобразными чертами геолого-литологического строения [Обедиентова, 1975; Лютцау, 1985; Аверичкин, 2003; Антроповский, Аверичкин, 2003].

Правильность выделения зон долинообразования подтверждается зависимостью $B_o = f(\varphi, \text{град. с.ш.})$, показывающей широтные изменения ширины современных долин. Получены две эмпирические формулы. Одна для рек северной покатости:, для которых характерно слабое увеличение ширин долин к северу: $B_o = 0,32\varphi - 13,3$. Вторая - для рек южной покатости с максимальной шириной долин в лесостепи и степи: $B_o = 1.45\varphi - 65$.

На северной покатости рассматриваемой территории долины образовались в позднем плейстоцене и поэтому развиты еще недостаточно. Они ограничивают меандрирование рек на территории распространения двух последних оледенений, где распространены моренные флювиогляциальные и гляциально-морские отложения с галечно-валунным составом.

На южной покатости Русской равнины (в том числе и в области днепровского оледенения) распространены более древние долины.

Основные активные факторы русловых процессов - сток воды, наносов подвержены изменению по ландшафтно-географическим зонам и геоморфологическим областям. Это накладывает отпечаток и на типы речных русел в разных природных зонах.

Распределение руслоформирующих расходов по территории (определенным в 38 гидростворах по методике, базирующейся на понятиях удельной мощности и удельной работы водного потока) примерно соответствует зонально-провинциальным закономерностям, установленным Р.С.Чаловым и Б.Н.Власовым [1991]. Для рек Севера Русской равнины (зона руслоформирования - А), как правило, характерно наличие двух руслоформирующих расходов: верхнего (выше пойменных бровок русла) и нижнего, примерно соответствующего отметкам форм руслового рельефа. На реках Северных Увалов (зона Б) распространены один или два интервала руслоформирующих расходов, соответствующих, однако, более низким уровням воды. Верхний из них обычно проходит в бровках русла (и даже несколько ниже), а нижний примерно соответствует уровню грядобразных скоплений наносов. Для рек Вятского Увала и Верхне-Камской возвышенности (зона Б) характерен один интервал (нижний или средний) руслоформирующих расходов в пределах меженного русла.

Южнее на реках большей части территории южной половины Русской равнины (зона В) распространено два-три интервала руслоформирующих расходов. Верхний из них проходит при затопленной пойме, средний - при уровне воды несколько ниже пойменных бровок и нижний - в меженном русле. В зависимости от количества интервалов руслоформирующих расходов, уровня их прохождения и обеспеченности в зоне В выделяются районы, чередование которых определяется региональными особенностями формирования стока и геолого-геоморфологическим строением территории. Юго-восточную часть Русской равнины, охватывающую полупустыни и пустыни занимает зона Г. Для рек этой зоны характерен один интервал руслоформирующих расходов, проходящий в пределах пойменных бровок.

Сток наносов, являющийся другим активным фактором руслоформирования, как известно, также подчиняется закону географической зональности. Зональность его подтверждается построенной зависимостью среднегодовой мутности рек от широты местности: $\rho = f(\varphi, \text{град.с.ш.})$.

Состав донных наносов формируется в результате взаимодействия потока, транспортирующего наносы, и его русла. В определенной мере он отражает природные условия речного водосбора (весь комплекс его физико-географических условий), ландшафтно-геологические и гидрологические условия района.

В пределах распространения оледенений и полярных трансгрессий, главным образом, на северной покатости и территории главного водораздела, характерны песчано-галечные, гравийные и песчано-глинистые отложения рек. Северная покатость и Северные Увалы слабее освоены эрозией, чем внеледниковые территории со средней крупностью донных отложений

– 0,43±0,46 мм. Наибольшие значения крупности отложений приходятся на тундру, лесотундру и северную лесную зону. В тундре – более 0,7 мм.

Внеледниковые территории характеризуются глубокими, разработанными долинами, длительной денудацией и выветриванием, что способствовало образованию мощного слоя рыхлых четвертичных отложений (лессовидные суглинки, супеси, лессы). Средняя крупность донных отложений в южной лесной зоне – 0,3–0,4 мм, а в лесостепи и степи – 0,3–0,32 мм (аллювиальные равнины бассейна Камы, возвышенности степной зоны), т.е. реки имеют песчаные и песчано-илистые отложения.

На самом юге в пределах пустынь и полупустынь Прикаспийской низменности распространены мелкие песчано-пылеватые, глинистые отложения и лессы континентального генезиса, а также пески и глины морского происхождения. Здесь средняя крупность донных отложений минимальна – 0,18 мм. Реки имеют илистые и песчано-илистые отложения.

Зависимость средней крупности донных отложений рек от широты, полученная по данным Г.А.Петуховой [199974]: $d_{50} = 0,043\varphi - 2,09$, выражает в количественном виде выявленную ею закономерность об уменьшении крупности донных отложений с севера на юг и о зональности гранулометрического состава четвертичных отложений.

Закономерности распространения типов русел и пойм определяются изменчивостью и сложным сочетанием факторов руслоформирования, главным образом, геолого-геоморфологическими условиями долин и прохождением руслоформирующих расходов воды. Там, где распространены трудно-размываемые породы, слабо выработана и флювиальная морфоскульптура. Геолого-геоморфологические факторы определяют свободные или ограниченные условия развития рек – распространение меандрирующих или немеандрирующих русел [Пиньковский, 1960]. Важными факторами для типа русел являются водность рек и условия прохождения руслоформирующих расходов воды. Так, в связи с увеличением водности рек, текущих в направлении, близком к меридиональному, и впадающих в моря, свободное меандрирование сменяется многорукавностью, которая характерна для низовий больших рек северной и южной покатостей.

Для выявления зональных особенностей морфологии, динамики и характеристик русел произведен выбор 14 репрезентативных рек. Под репрезентативностью рек понимается степень представительности их в отношении изучаемого элемента гидрологического режима как с точки зрения соответствия реки предъявляемым требованиям, так и с точки зрения отражения условий, характерных для данной природной зоны.

Малые и большие реки для исследования зональности режима, морфометрических и гидрологических характеристик рек не годятся. Режим малых рек, как правило, находится под влиянием местных особенностей и является аazonальным. Режим больших рек, пересекающих несколько природных зон, отражает особенности этих зон в интегральном виде и является сложным – полизональным.

Отвечающими указанным требованиям являются средние реки, протекающие преимущественно в пределах одной конкретной зоны. При выборе репрезентативных рек обращалось внимание на сходство климатических условий с остальными реками природной зоны, однородность условий формирования стока воды и наносов и отсутствие факторов, искажающих величину естественного речного стока (регулировании стока и др.). Режим таких рек отражает все наиболее типичные черты годовых и многолетних колебаний стока, свойственных данной географической зоне. Типичность гидрологического режима, свойственная репрезентативным рекам природных зон, обеспечивает в определенной степени и типичность схем русловых процессов, гидрологических и морфометрических характеристик [Антроповский, 1977].

Анализ построенных графиков (зависимостей) широтно-зонального изменения ряда морфометрических и гидрологических характеристик, свойственных участкам репрезентативных рек, несмотря на имеющийся разброс точек, подтверждает наличие зональных закономерностей. Зависимость широтного изменения отношения ширины русел и долин рек, показывает, что в направлении с юга на север русла рек занимают все большую часть дна долин: $B/B_0 = f(\varphi, \text{град.с.ш.})$. В лесостепи, степи и полупустыни ширина долин намного превышает ширину русел. Большая ширина долин связана с длительной историей развития этих районов, а малая ширина русел с меньшей обводненностью, чем на севере.

Рассмотрение широтного изменения ширины русел рек $B = f(\varphi, \text{град.с.ш.})$ приводит к выводу, что к северу и югу от главного водораздела ширина русел увеличивается. Это объясняется увеличением водности в этих же направлениях. Максимальная ширина свойственна руслам северной части лесной зоны, лесотундры, тундры. Реки южной лесной зоны также постепенно увеличивают свою ширину с увеличением водности по мере удаления от водораздела. Для лесостепи, степи, полупустыни характерно незначительное увеличение ширины рек к югу. Маловодность рек южной части компенсируется легкой размываемостью берегов русел, что способствует их расширению.

Зависимость широтного изменения отношения ширины русел рек к их средней глубине $B/h_{\text{ср.}} = f(\varphi, \text{град.с.ш.})$ показывает, что отношение $B/h_{\text{ср.}}$ резко возрастает для зон тундр-лесотундр, с одной стороны, и полупустынь-пустынь с другой. В первом случае это связано с неспособностью углубить ложе в ледниково-морских отложениях. Расширению также способствовали проникновение в долины морей, ледников, создавших озеровидные расширения, прогнутость территорий из-за оледенения. В пустынях и полупустынях распластанность связана с неспособностью прорыть глубокие русла из-за маловодности, легкой размываемостью берегов. В остальных зонах $B/h_{\text{ср.}}$ меняется слабо, возрастая лишь на севере лесной зоны.

Связь шагов излучин меандрирующих рек с шириной русел: $\lambda = 6,9 \cdot B^{0,97}$ свидетельствует, что рекам с большей шириной свойственны и

большие значения шагов излучин. Конкретно – длина шага излучин равна примерно семикратной ширине реки.

Зависимость $S/\lambda = f(\varphi, \text{град.с.ш.})$ показывает широтное изменение степени развитости излучин. Степень развитости речных излучин плавно увеличивается от северной лесной зоны до границы степей и полупустынь. Максимальное значение этой характеристики равно примерно 4,0 и соответствует 50°с.ш. В зоне полупустынь и пустынь S/λ резко уменьшается.

На основе полученной зависимости широтного изменения коэффициента устойчивости русел – чисел Лохтина L по репрезентативным рекам: $L = f(\varphi, \text{град.с.ш.})$ и произведенного районирования восточной части Русской равнины по степени устойчивости речных русел можно заключить о постепенном увеличении коэффициента L с юга на север. Наиболее устойчивы реки тундр и лесотундр, а наименее – реки полупустынь и степей. Сравнительно устойчивы реки лесной зоны, особенно северной половины.

Устойчивые русла характерны для верховьев рек берущих начало в предгорьях Урала, а также с возвышенностей Русской равнины (Тиманского кряжа, Уфимского плато). Относительно устойчивые русла свойственны рекам бассейнов Печоры, Северной Двины, Вятки, среднего течения Волги. Слабоустойчивые русла распространены в лесостепной и степной зонах, а также в нижнем течении средних и больших рек северной и южной покатости (Северная Двина, Мезень, Печора, Вычегда, Вятка, Кама, Самара, Урал и др.). Неустойчивые русла характерны для Прикаспийской низменности, где реки текут в легкоразмываемых отложениях.

По интенсивности деформаций русел рек рассматриваемая территория делится на две половины:

- северная покатость и главный водораздел с пониженной интенсивностью деформаций;
- южная покатость с повышенной интенсивностью деформаций.

Граница между ними практически совпадает с южной границей Московского оледенения.

Большим рекам севера Русской равнины свойственно чередование участков со свободным и ограниченным развитием русловых деформаций. Средние скорости размыва в первом случае составляют 5-10 м/год, при локальных проявлениях до 30 м/год (отдельные участки Вычегды, Северной Двины, Мезени, Печоры). В случае подмыва коренных берегов скорости деформаций снижаются до 1 м/год и менее (часто они составляют несколько см/год и несколько десятков см/год). Скорости размыва пойменных берегов больших рек в пределах приморских равнин обычно составляют более 15 м/год. Для рек Северных Увалов (Юг, Луза, Сысола) характерно наличие скоростей плановых деформаций на меандрирующих участках рек до 5 м/год, при немеандрирующем русле до 1,5 м/год. Самые малые скорости деформаций (< 0,5 – 1 м/год) свойственны рекам Тиманского кряжа (верховья Мезени, Цильмы, Выми, Ижмы) и предгорьям Полярного Урала (верховья Печоры, Усы и др.).

Реки южной покатости характеризуются более свободными условиями развития и повышенной интенсивностью деформаций. Размывы пойменных берегов на Унже, Ветлуге и других реках Среднего Поволжья составляют более 10 м/год, а в широких унаследованных долинах рек Вятки, Камы, Чепцы - до 20 м/год. На реках основной части южной покатости (Приволжская возвышенность, Поволжье, Заволжье) скорости плановых деформаций на меандрирующих реках могут достигать 15-25 м/год. В то же время скорости плановых деформаций рек с врезанными немеандрирующими руслами обычно меньше 1,5 м/год. Скорости деформаций пойменных берегов больших и средних рек в пределах Прикаспийской низменности могут быть более 25 м/год (иногда до 50 м/год).

На основе полученных зависимостей широтного изменения средней и максимальной скоростей размыва берегов репрезентативных рек: $C_{\text{ср.}} = f(\varphi, \text{град.с.ш.})$ и $C_{\text{макс.}} = f(\varphi, \text{град.с.ш.})$ прослеживается четкая тенденция увеличения скоростей плановых деформаций с севера (от тундры) на юг к полупустыням. Хотя для рек северной покатости (в пределах лесной зоны) характерно увеличение скоростей деформаций с удалением от главного водораздела к северу (Юг, Вытегда, Печора), но резко уменьшается в тундрелесотундре (Уса). Объясняется это тем, что в пределах лесной зоны (к северу от главного водораздела) уменьшается влияние ограничивающих условий и происходит увеличение водности и воздействия ледохода. В тундре же, по-видимому, уже сказывается влияние вечной мерзлоты.

Для рек южной покатости с удалением от главного водораздела резкое возрастание интенсивности деформаций объясняется увеличивающейся обезлесенностью и все более широким распространением легкоразмываемых подстилающих пород (лессов и супесей). Руслу средних и больших рек (Урал, Илек, Эмба) характеризуются слабой устойчивостью и очень интенсивными переформированиями. При этом образуются многочисленные блуждающие русла, отличающиеся сложным режимом деформаций с обрушением берегов.

Таким образом, в распространении деформаций речных русел проявляется определенная зональность. Интенсивность изменяется при переходе от одной природной зоны к другой.

Интенсивность или скорость плановых деформаций русел рек в большой мере зависит от характера подмываемых берегов (пойменный берег, уступ террасы или склон долины). Для всех рек характерно возрастание интенсивности деформаций от верховьев к низовьям вследствие увеличения их водности, уменьшения уклонов и крупности аллювия.

Несмотря на наличие зональности в интенсивности плановых деформаций репрезентативных рек, в каждом конкретном случае размыв берегов является функцией сочетания основных факторов определяющих деформации.

Что касается глубинных (высотных) деформаций, то амплитуда колебаний отметок дна в нижнем течении рек Ветлуги, Унжи, Белой, Вятки,

Камы составляет 0,7-0,9 м. В то же время на реках Самара, Урал наблюдаются колебания отметок дна от 3 до 4,5 м [Антроповский, 2001, 2002; Антроповский, Башков, 1998].

Природный ландшафт представляет собой не механическую сумму элементов – почв, растительности, поверхностных и подземных вод и др., а сложный комплекс, элементы которого теснейшим образом связаны друг с другом. Каждой географической зоне, каждому ландшафту присущ свой особый водный режим и характер гидрографической сети [Соколов, 1967]. С изменением географического ландшафта изменяется и гидрографический облик территории. Существует и обратная связь, т.к. водный фактор сам по себе играет первостепенную ландшафтообразующую роль.

Русловые процессы являются составной частью развития географической оболочки. Зональные факторы определяют общий фон развития речных русел, а местные проявляются в придании им специфических черт. Изменение зональных факторов русловых процессов (климата, почвенно-растительного покрова, стока воды и наносов) и геолого-геоморфологических факторов (размеры и характер долин, их унаследованность и история развития, морфоскульптурные особенности рельефа) по геоморфологическим районам (морфоструктурам) создает зонально-региональные различия в условиях формирования, морфологии и динамике русел рек. Последнее необходимо учитывать при составлении фоновых прогнозов русловых переформирований на отдаленную перспективу, в частности в связи с ожидаемым потеплением климата и возможным смещением границ природных зон.

ЛИТЕРАТУРА

Аверичкин О.Б. Формирование речных долин восточной части Русской равнины в связи с событиями четвертичного периода // География и смежные науки. СПб.: Эпиграф, 2003.

Антроповский В.И. О классификациях и районировании русел преобразованных рек и каналов // Гидротехническое строительство, 1977, № 11.

Антроповский В.И., Башков А.С. Учет русловых деформаций для повышения надежности подводных переходов трубопроводов на свободно меандрирующих реках // Гидротехническое строительство, 1998, № 3.

Антроповский В.И. Влияние русловых деформаций на состояние подводных переходов магистральных нефтепроводов на реках Сок и Сургут // Гидротехническое строительство, 2002, № 1.

Антроповский В.И. Определение интенсивности деформаций закарстованных рек // География и природные ресурсы, 2001, № 2.

Антроповский В.И., Аверичкин О.Б. Реки восточной части Русской равнины // Восемнадцатое пленарное межвуз. координац. совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и краткие сообщения, Курск, 2003.

Антроповский В.И., Изотов А.В., Шелухина О.А. Структура и динамика пойменно-русловых комплексов рек // Вестник географического факультета РГПУ им. А.И.Герцена, вып. 3, 2003.

Власов Б.Н., Чалов Р.С. Районирование Европейской территории по условиям прохождения руслоформирующих расходов на реках // Вестн. МГУ, Сер. 5. География, № 6, 1991.

Лютцау С.В. Зональность и аazonальность долинного морфогенеза // Рельеф и климат. М.: МФГО СССР, 1985.

Обедиентова Г.В. Формирование речных систем Русской равнины. М.: Недра, 1975.

Петухова Г.А. Зависимость характеристик донных отложений рек ЕТС от природных условий // Труды ГГИ, Вып. 210, 1974.

Пиньковский С.И. Карта основных типов русел равнинных рек СССР // Труды III Всес. гидролог. съезда. Том 5. Л.: Гидрометеиздат, 1960.

Соколов А.А. Гидрография СССР (воды суши). – Л.: Гидрометеиздат, 1967.

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЙМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Антропогенное воздействие условно можно разделить на три составляющие: на климат, бассейн реки и непосредственно на реку и ее русло. Первые два вида действуют опосредованно, в основном через осадки. Последнее – иногда очень значительное, через строительство различных гидротехнических сооружений и проведение водохозяйственных мероприятий в руслах и на поймах рек.

Особенно сложной является оценка воздействия изменений климата как на сток воды, так и на процессы формирования пойм. Не вдаваясь в анализ дискуссионной проблемы о причинах потепления климата, отметим лишь, что в настоящее время наблюдается повышение глобальной температуры воздуха на $0,6^{\circ}\text{C}$. Это приводит к существенному изменению общей циркуляции атмосферы, в частности, в Северном полушарии. Следствием этого является значительное усиление циклонической деятельности, особенно в период с 1997 г. по настоящее время, которая вызвала резкое увеличение числа, и, главное, мощности катастрофических паводков практически во всех странах Западной Европы. Действительно, в 1977 г. на реках Висле и Одере прошли катастрофические паводки вероятностью один раз в 300-400 лет. В последующий период катастрофические паводки редкой обеспеченности наблюдались почти во всех странах Западной Европы и особенно мощные в Англии и Франции, где уровни воды на ряде рек поднимались до вторых этажей жилых зданий. В 2005 г. в Сербии также прошел катастрофический паводок, вызванный интенсивным таянием снегов, сопровождаемых ливневыми осадками. Сопутствующим фактором, способствующим увеличению глубин и площадей затопления пойм явилась их застройка. Действительно, в предшествующий этим паводкам период, с течение примерно 100 лет, катастрофические паводки не наблюдались, и это привело к интенсивной застройке пойм жилыми и промышленными зданиями. Последние, оказывая значительное сопротивление движению потока, приводят к существенному повышению уровней и глубин затопления пойм.

Анализ влияния антропогенного воздействия на бассейн, русло и поймы рек достаточно полно освещен в технической литературе [Барышников, 1984, 1990], поэтому кратко остановимся лишь на воздействии только нескольких активных гидротехнических сооружений. Наиболее значимыми из них являются регулирующие водохранилища гидроузлов, мостовые переходы, перекрывающие поймы сплошными дамбами, русловые карьеры и переброска стока в другие бассейны рек.

Крупные водохранилища на равнинных реках в верхних бьефах затопливают и подтапливают поймы на участках значительной протяженности. Особенно сложные процессы наблюдаются в зонах переменного под-

пора. В нижних бьефах гидроузлов из-за резкого уменьшения стока наносов и максимальных расходов воды, как правило, наблюдается врезание русел и, как следствие, уменьшение частоты и глубины затопления пойм, сопровождаемое изменением структуры наилка. Действительно, вместо гумусных частиц на пойму поступают продукты размыва нижнего бьефа, как правило, пески, ухудшающие структуру почвы, тем самым снижая сельскохозяйственную продуктивность пойм.

В качестве примера можно привести р. Иртыш на участке ниже Бухтарминского водохранилища [Барышников, 1984; Барышников, Попов, 1988], где из-за регулирования стока пойма перестала затопляться и стала не только остепняться, но даже и опустыниваться. При этом резко снизилась ее сельскохозяйственная продуктивность, для восстановления которой потребовался комплекс сложных агротехнических мероприятий.

Мостовые переходы, полностью перекрывающие пойму сплошной дамбой, так же оказывают существенное влияние как на процессы ее формирования, так и на характер растительности на ней [Барышников, 1990; Барышников, Самусева, 1999]. Действительно, выше дамбы создается как бы временное водохранилище, что приводит к увеличению продолжительности затопления поймы, а, следовательно, к изменению характера растительности на ней. Это приводит к нарушению процесса формирования пойм на участке выше мостового перехода, а также и на ниже расположенном участке из-за изменения гидравлики потока и стока наносов. Донные наносы обычно отлагаются на участке расположенном выше перехода, а в створе моста и на ниже расположенном участке наблюдается интенсивный размыв русла, сопровождаемый увеличением его емкости, а, следовательно, уменьшением продолжительности и частоты затопления пойм.

Близкие к этим процессы наблюдаются и при эксплуатации больших русловых карьеров и карьерных участков [Барышников, 1990]. Интенсивная добыча аллювия приводит к разработке перекатов, островов, осередков и других выпуклых форм рельефа и, как следствие, к посадкам уровней. Величины последних на реках могут достигать 3-5 м (реки Томь, Стрый и др.). Это приводит к резкому уменьшению частоты и глубины затопления пойм и изменению процессов их формирования.

Аналогичные явления наблюдаются и при переброске стока рек. Так, при отъеме стока из-за уменьшения расходов и скоростей потоков, процессы формирования пойм замедляются. Уменьшается частота и глубина их затопления.

Наименее изученной является проблема изменения процесса формирования пойм в результате глобального потепления. При увеличении числа и мощности катастрофических паводков следует ожидать активизации процессов формирования пойм. В то же время представляется целесообразным применить метод аналогии, для чего следует использовать данные наблюдений за этими процессами в регионах, расположенных южнее умеренных широт. В этом аспекте представляют большой интерес результаты анализа последствий катаст-

рофических паводков (один раз в 400–1000 лет), прошедших в тропической и экваториальной зонах, опубликованные в 70-х годах прошлого столетия М. Стивенсом и др. [Stevens et al., 1995]. Ими установлено, что такие катастрофические паводки полностью разрушали поймы, заросшие растительностью и даже лесом, превращая их в канализированные русла шириной, равной ширине русла с поймой. Однако по прошествии нескольких лет после прохождения обычных паводков поймы восстанавливались, быстро зарастая тропической растительностью. Этот пример следует рассматривать как крайний случай. Близкие к нему деформации русел и пойм возможны на Дальнем Востоке и в Приморском крае. На западе России, по-видимому, при увеличении максимальных, близких к катастрофическим, расходах воды следует ожидать интенсификации процессов переформирования пойм.

В период с 1997 г. по настоящее время в западных регионах России не отмечено существенного увеличения максимальных расходов воды. По-видимому, это обусловлено тем, что на этой территории преобладают максимальные расходы воды весеннего половодья. Установлено, что потепление климата сопровождается существенным повышением температур зимнего периода, сопровождаемого оттепелями и соответственно таянием снегов и сокращением их запасов к весеннему половодью. В то же время на северо-западе зафиксировано увеличение максимальных расходов воды ливневого происхождения.

Самостоятельной, но и наиболее сложной проблемой является учет антропогенного воздействия при разработке методов расчетов пропускной способности русел с поймами. Эта проблема имеет не только научное, но и большое практическое значение. Действительно, измерения катастрофических максимальных расходов воды, как правило, не осуществляются из-за их быстротечности и по условиям техники безопасности. Особенно это актуально для России. В то же время именно эти данные являются наиболее важными при проектировании и строительстве. Учитывая, что до настоящего времени не решена проблема расчетов пропускной способности пойменных русел, даже при отсутствии антропогенного воздействия, рассмотрим состояние этой проблемы.

Наставление НИМП-72 [1972] рекомендует расчет пропускной способности пойменных русел осуществлять на основе формулы Шези:

$$Q = Q_p + Q_n = F_p C_p \sqrt{h_p I_p} + F_n C_n \sqrt{h_n I_n} \quad (1)$$

где Q , F , h , C и I – соответственно, расходы воды, площади поперечного сечения, средние глубины, коэффициенты Шези и уклоны водной поверхности; p и n – индексы обозначающие, что параметры относятся, соответственно, к русловой или пойменной частям потока.

Недостатки этой методики были вскрыты после выявления влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков, в основном, в результате

работ отечественных ученых [Гончаров, 1962; Железняков, 1981]. Более того, дополнительным осложняющим фактором является отсутствие данных об уклонах водной поверхности пойменного потока. Учитывая это, в 60–70-х гг. XX в. было предложено учитывать влияние этого эффекта с помощью корректирующих коэффициентов к русловой ($\kappa_p < 1$) и пойменной ($\kappa_p > 1$) составляющим потока [Ле Ван Киен, 1968; Карасёв, 1980]. Однако методика определения этих коэффициентов несовершенна, так как она основана только на данных лабораторных измерений при параллельности динамических осей потоков. Исключением является методика И.Ф.Карасева [1980], но она сложна и для ее реализации необходима информация, которая может быть получена только при специальных измерениях.

Значительным достижением явилась разработка типизации процессов взаимодействия потоков, осуществленная Н.Б.Барышниковым [1984] и В.Г.Саликовым [1982], основанной на положении об определяющем влиянии особенностей морфологического строения русла и поймы на расчетном участке на гидравлику потоков. В качестве интегральной характеристики этих особенностей принят угол α между динамическими осями взаимодействующих потоков, приравняемый углу между геометрическими осями русла и поймы. В качестве примера приведена типизация процессов взаимодействия руслового и пойменного потоков, разработанная в РГГМУ (рис. 1). В ее основу положено расположение динамических осей взаимодействующих потоков на участке, расположенном ниже расчетного створа. Выделено пять типов взаимодействия потоков, при этом второй и третий типы наблюдаются при односторонних, а четвертый и пятый – при двухсторонних поймах.

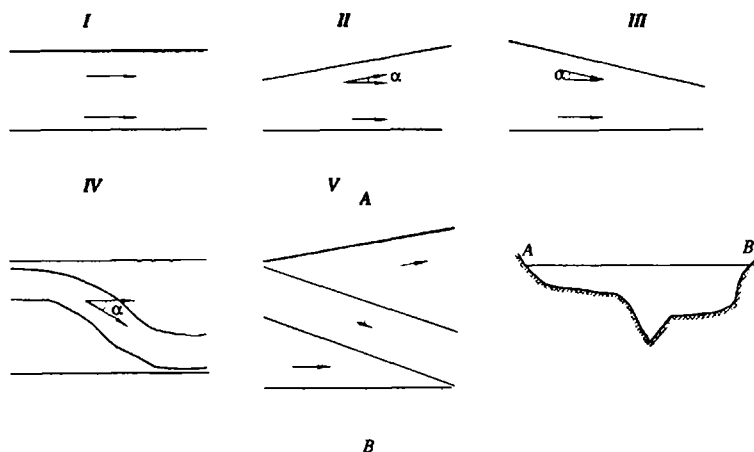


Рис.1. Типы взаимодействия руслового и пойменных потоков

Д.Е.Скородумов [1965] предложил, а Н.Б.Барышников [1984] усовершенствовал методику расчетов, основанную на применении системы уравнений неразрывности и движения потоков с переменной по длине массой, которая для русла с односторонней поймой имеет вид:

$$I_p = \left(\frac{V^2}{C^2 h} \right)_p + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha_K V^2}{2g} \right)_p + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\alpha_B V}{g} \right)_p + \left(\frac{q V^1}{g F'} \right)_p; \quad (2)$$

$$I_n = \left(\frac{V^2}{C^2 h} \right)_n + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha_K V^2}{2g} \right)_n + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\alpha_B V}{g} \right)_n + \left(\frac{q V^1}{g F'} \right)_n; \quad (3)$$

$$\frac{\partial (Q_p + Q_n)}{\partial x} + \frac{\partial (F_p + F_n)}{\partial t} = q_c, \quad (4)$$

где α_K и α_B – коэффициенты Кориолиса и Буссинеска; $q = q_b + q_c$ – расход воды на единицу длины потока за счет эффекта взаимодействия потоков (q_b) и склонового стока (q_c); V^1 и F' – скорость и площадь сечения массообмена между русловым и пойменным потоками. Решение этой системы относительно средней скорости потока позволяет получить формулу, близкую к формуле Шези.

$$C = V \sqrt{h I \left(1 - \frac{\sum \varepsilon_i}{I} \right)}, \quad (5)$$

где

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha_K V^2}{2g} \right); \quad \varepsilon_2 = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\alpha_B V}{g} \right); \quad \varepsilon_3 = \frac{q V^1}{g F'}.$$

Близкая к этой методика была разработана В. Г. Саликовым [1982]. Причем значения коэффициентов в расчетных зависимостях им были определены в результате модельных испытаний меандрирующих рек. Однако реализация этой методики в настоящее время затруднена из-за недостатка исходной информации.

В РГГМУ [Барышников, 1984; Барышников, Самусева, 1999] была разработана методика расчетов, основанная на данных наблюдений на сети Гидрометслужбы в виде графических зависимостей (рис.2):

$$\frac{V_p}{V_{p.6}} = f \left(\frac{h_p}{h_{p.6}}, \alpha \right),$$

для русловой составляющей, которая позднее была усовершенствована Е.В.Польщиной на основе дополнительной информации Гидрометслужбы.

Положение расчетных кривых здесь (рис.3) несколько скорректировано на основе дополнительной натурной информации. Однако вопрос о расчете скоростей русловых потоков при параллельности их осей с пойменными нельзя считать решенным и требует дополнительной проработки. Действительно, при равномерном движении средняя скорость руслового потока в соответствии с формулой Шези-Маннинга будет пропорциональна глубине (в степени $2/3$) $V = \alpha h^{2/3}$. Однако под воздействием пойменного потока происходит резкое уменьшение средней скорости по сравнению

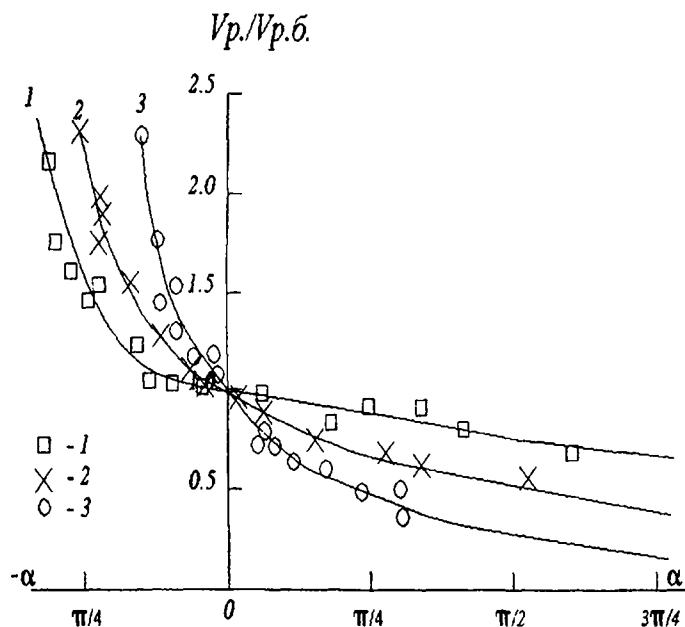


Рис. 2. Кривые $V_p/V_{p.6.} = f(h_p/h_{p.6.}; \alpha$: 1 - $h_p/h_{p.6.} = 1,10$ 2 - $h_p/h_{p.6.} = 1,25$ 3 - $h_p/h_{p.6.} = 1,50$

с равномерным движением. Величина этого уменьшения зависит от соотношения скоростей взаимодействующих потоков и других факторов (шероховатость поймы, ее ширина и др.), определяющих мощность пойменного потока.

Эти факторы в значительной мере определяют не только величину снижения средней скорости руслового потока под воздействием пойменного, но и интенсивность ее увеличения при увеличении уровней воды ($\Delta V/\Delta H$).

Зависимости, приведенные на рис. 2 и 3, позволяют определить некоторые осредненные значения средних скоростей русловых потоков. Действительно, в них недостаточно учтены факторы, определяющие величину эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков - относительная ширина и шероховатость поймы, уклоны водной поверхности пойменных потоков и др. В то же время дальнейшее уточнение этих зависимостей за счет введения в них дополнительных факторов может привести к противоположному эффекту из-за низкой точности и большой погрешности определения этих параметров в натурных условиях. Значительно сложнее разработка методики расчетов пропускной способности пойм. В частности, погрешности расчетов по формуле (1) для пойменной составляющей значительно превышают аналогичные для русловой. Это, в первую очередь, обусловлено сложностью морфологического строения пойм, малым объе-

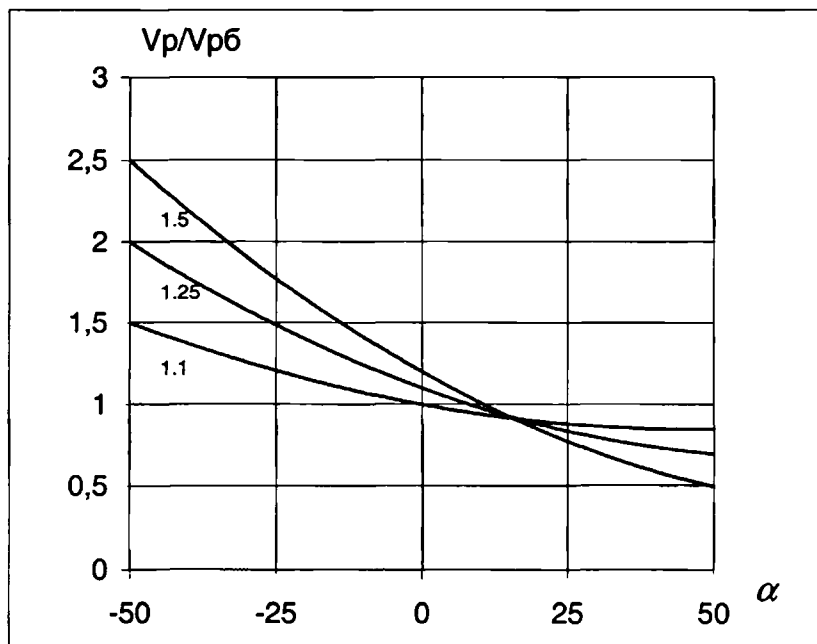


Рис.3. Зависимости $V_p/V_{p6} = f(\alpha)$ для соотношения $h_p/h_{p6} = 1,1; 1,25$ и $1,5$.

мом и низким качеством натурной информации, а также отсутствием сведений об уклонах водной поверхности пойменных потоков. Поэтому из многочисленных попыток усовершенствовать методику расчетов пойменной составляющей [Железняков, 1981; Барышников, Самусёва, 1999] можно

рекомендовать методику, разработанную в РГГМУ С.Л. Галактионовым и основанную на графической зависимости вида

$$Q_n / (Q_p + Q_n) = f(F_n / (F_p + F_n), n_n / n_p), \quad (6)$$

для пойменной составляющей (рис.4). Анализ и оценка, выполненные в РГГМУ, показали, что наиболее эффективными являются методики основанные на гидравлических зависимостях, приведенных на рисунках 2 – 4. Однако эти методики недостаточно учитывают антропогенное воздействие. Поэтому при их использовании необходимо вносить соответствующие коррективы, учитывающие различные виды антропогенного воздействия и особенно активных гидротехнических сооружений [Барышников, 1990].

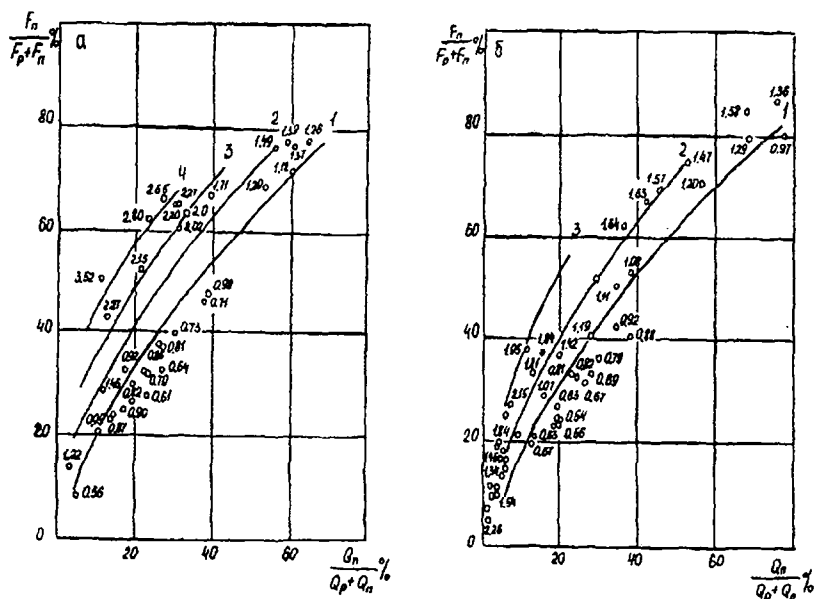


Рис.4. Зависимости $Q_n / (Q_p + Q_n) = f(F_n / (F_p + F_n), n_n / n_p)$; а и б - соответственно третий и второй типы взаимодействия потоков. Около точек значения n_n / n_p : 1 - $n_n / n_p = 1,0$; 2 - $n_n / n_p = 1,5$; 3 - $n_n / n_p = 2,0$; 4 - $n_n / n_p = 2,5$.

К сожалению, недостаток надежной натурной информации не позволил разработать методику расчетов этих корректирующих параметров. В то же время анализ имеющихся материалов об участках рек, где измерения производились выше или ниже мостовых переходов, позволил установить существенное увеличение (почти в два раза) погрешностей расчетов.

Считаем, что при расположении жилых массивов и промышленных предприятий на поймах их влияние можно учитывать в качестве дополнительных сопротивлений, величина которых в основном определяется плотностью застройки территории поймы, существенно уменьшающей площадь поперечного сечения.

ЛИТЕРАТУРА

Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. Л.: Гидрометеиздат, 1984.

Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1988.

Барышников Н.Б. Антропогенное воздействие на русловые процессы. Л.: Изд-во ЛГМИ, 1990.

Барышников Н.Б., Самусева Е.А. Антропогенное воздействие на саморегулирующуюся систему бассейн– речной поток– русло. СПб: Изд-во РГГМУ, 1999.

Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1962.

Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. Л.: Гидрометеиздат, 1981.

Карасев И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. Л.: Гидрометеиздат, 1980.

Ле Ван Киен. О гидравлическом расчете пойменных русел // Гидротехника и мелиорация, №9, 1968.

Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (НИМП –72). М.: Транспорт, 1972.

Саликов В.Г. О русловом процессе на меандрирующих реках в условиях выхода воды на пойму. Гидравлика сооружений и русловые процессы. Калинин: Изд-во КГУ, 1982.

Скородумов Д.Е. Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды // Труды ГГИ. Вып. 128, 1965.

Stevens M., Simons D., Richardson E. Non – equilibrium – river form // J. Hydraul. Div. Proc. ASCE, 1975, vol. 101, № 5.

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЙМЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ¹

Антропогенное влияние на речные поймы проявляется, во-первых, в виде непосредственного воздействия хозяйственной деятельности на пойменную поверхность и, во-вторых, через изменения гидрологического и гидрогеологического режима пойм, связанные с регулированием стока реки, дноуглубительными работами в русле и другими гидротехническими мероприятиями. К первому относятся выпас скота на поймах, сенокос, распашка, организация на поймах крупных стройплощадок и карьеров полезных ископаемых, в том числе и стройматериалов. Вторые происходят в результате создания водохранилищ, обвалования пойм и возведения насыпей при дорожном строительстве), влекущих за собой снижение частоты, длительности и глубины затопления пойм (поемности), осушительные и оросительные мелиорации, изменяющие уровень грунтовых вод. Оба вида воздействия отражаются на пойменных ландшафтах, изменяя их [Беркович и др., 1988].

Эти изменения в свою очередь, различаются между собой как по масштабам, так и по их влиянию на экологическое состояние самих пойм, их поверхности и акваторий пойменных озер и протоков, под которым подразумевается общее состояние пойменных ландшафтов, рассматриваемое с точки зрения человека и полезной ему биоты.

Следует отметить, что практически любое заметное вмешательство человека в функционирование пойменного ландшафта изменяет его экологическое состояние: уплотняется структура почвы, отчего снижаются ее аэрация и капиллярное увлажнение, ломаются привычные пути потоков полых вод при затоплении, в результате чего одни участки поймы переувлажняются, а другие - наоборот, испытывают дефицит влаги. При искусственной смене ландшафта с естественного на агрикультурный возникает опасность эрозии на поверхности пойм, обеднение состава пойменных почв и т.д. Поэтому можно признать, что большая часть вмешательств в пойменные ландшафты несет в себе определенную потенциальную опасность возникновения экологической напряженности, которая, в свою очередь, чревата ухудшением условий обитания и жизнедеятельности людей, фауны, флоры и т.д.

¹ Выполнено по программе «Университеты России» (проект УР.08.02.593/05).

В то же время антропогенное вмешательство в пойменные ландшафты в большинстве случаев проводится для улучшения жизни людей (и в этом его смысл): дороги улучшают связи, распахка пойм производится для обеспечения населения продовольствием, некоторые виды вмешательства облагораживают пойменные ландшафты с позиции комфортности обитания человека, улучшают его рекреационные условия. Иными словами, любое антропогенное вмешательство в пойменные ландшафты имеет двойные последствия: в одних случаях положительный экономический (а иногда и экологический) эффект преобладает над потенциальной экологической опасностью, возникающей в результате действий человека, в других, наоборот - получение экономических выгод оказывается малозначущим на фоне серьезного ухудшения экологического состояния ландшафта.

Для определения целесообразности различных видов искусственного вмешательства в ландшафты речных пойм, находящихся в разных природных условиях, разработана методика, фиксирующая изменения экологического состояния пойменных ландшафтов при хозяйственной деятельности и оценивающая их экономическую, социальную и экологическую целесообразность. Использование этой методики позволяет в перспективе дать прогнозную оценку состояния пойменных ландшафтов при существующем уровне антропогенной нагрузки.

Методика оценки существующего и прогнозируемого экологического состояния пойменных ландшафтов

Оценка экологического состояния пойменных ландшафтов производится различными качественными и количественными методами. Качественные показатели применяются, преимущественно, при оценке непосредственного влияния хозяйственной деятельности на пойменные ландшафты, включая мелиорацию. Они используют связи экологического состояния пойм с видами хозяйствования. При этом экологическая ситуация, как сиюминутное экологическое состояние конкретного пойменного ландшафта, описывается и оценивается по ряду признаков: уровню угнетения флоры, почв, степени измененности пойменного рельефа и гидрографической сети, по специфике использования пойм, наличию распаханых участков, мелиоративных каналов и т.д.

Для этого, наряду с натурными наблюдениями, проводится анализ крупномасштабных картографических материалов, на которых дается информация, отражающая ту или иную степень экологической опасности пойменного ландшафта. В частности, на современных топографических и некоторых тематических картах показывается заболоченность пойм в несвойственных для нее местах, распаханность пойменных поверхностей (что при знании особенностей прохождения руслоформирующих расходов воды позволяет определить вероятность их размыва), наличие песчаных дюн на поймах возле населенных пунктов или ферм, не типичных для пойм в есте-

ственном состоянии. Очень хорошо читаются на картах карьеры, дамбы, гидроузлы и другие сооружения. Анализируются также полученные из литературных, фондовых, проектных и иных источников сведения об использовании пойм, их мелиорированности, естественном и искусственном гидрологическом режиме.

В итоге дается качественная оценка экологического состояния определенного участка поймы. При необходимости эта оценка может быть выражена в системе баллов экологической напряженности, под которой понимается степень проявления неблагоприятных для человека последствий происходящих или ожидаемых изменений экологического состояния поймы: 0 баллов – отсутствие экологической напряженности (экологическое состояние благоприятное, хорошее и т.п.), 1-2 балла – слабая, 3 балла – средняя, 4 балла – сильная, 5 баллов – предельная экологическая напряженность, кризисная ситуация.

Отсутствие экологической напряженности отвечает естественному или близкому к нему состоянию пойменных ландшафтов, которое характеризуется устойчивым равновесием взаимодействия их составных частей в условиях естественной поемности. В настоящее время оно свойственно речным поймам незарегулированных рек, на которых хозяйственная деятельность либо отсутствует полностью, либо осуществляется в минимальной степени (отдельные строения, тропы, заборы, ручной или конный сенокос). Прогноз развития экологической обстановки в неизменных пойменных ландшафтах при сохранении существующих условий хозяйствования весьма благоприятен: ухудшения экологического состояния не ожидается.

Слабую экологическую напряженность вызывают, в основном, локальные изменения пойменных ландшафтов, связанные: а) с уплотнением пойменных почв колесами тяжелых машин при распахке и механизированном сенокосе, а также в местах неумеренного выпаса скота; б) со строительством дорожных насыпей, отдельных строений и малых сельских поселений на поймах (без изменения их высоты).

Низкий уровень экологической напряженности для перечисленных воздействий определяется локальным характером большинства из них, незначительным масштабом проявления, малыми периодами релаксации. Так, уплотнение почвы является событием временным – оно нейтрализуется за несколько лет за счет жизнедеятельности почвенных организмов. Дорожные насыпи, особенно сделанные без водопропускных сооружений, препятствуют свободному потоку полых вод, вынуждают их застаиваться, ухудшая качество воды и вызывая угнетение почвы и растительности, но все это происходит на весьма ограниченных пространствах пойм и больше всего вредит самому состоянию дорог, а также сказывается в условиях деформациях.

Более масштабным изменением пойменных ландшафтов является распахка пойм. Однако сама по себе распахка, проведенная в допустимых гидрологических условиях, не влечет за собой сколько-нибудь серьезного ухудшения экологического состояния пойм, кроме уплотнения почвы трак-

торами. Однако это последнее ухудшение частично нивелируется последующими агротехническими мероприятиями, проводимыми для обеспечения высокой урожайности пойм.

Прогноз экологического состояния пойм, подвергнувшихся перечисленным выше изменениям, достаточно оптимистичен: современное слабо-нарушенное экологическое состояние пойменных ландшафтов может не изменяться при сохранении нынешнего уровня хозяйствования и видов антропогенных нагрузок или улучшаться при их снятии из-за малых сроков релаксации. Оценка перечисленных состояний, отличающихся слабой экологической напряженностью во многом связана с потенциальной возможностью ухудшения экологического состояния пойменных ландшафтов в случае интенсификации указанных видов антропогенной деятельности.

Средняя экологическая напряженность свойственна поймам, подвергшимся более масштабному воздействию человека, которое, вместе с тем, сохранило основные черты пойменного рельефа и почв. Сюда относятся: а) обвалование; б) единичные карьеры на поймах; в) разрушение (размыв) прибрежных участков поймы при усилении интенсивности русловых деформаций в нижних бьефах гидроузлов; г) вырубка лесов на прилегающих к поймам пространствах (террасах и водоразделах).

Обвалование пойм без организации польдерных систем, обеспечивающих периодический доступ речных вод на поймы, приводит к тому, что поймы перестают покрываться полыми водами. На поймах, используемых под овощные, садовые и иные культуры, это, с одной стороны, снижает или ликвидирует опасность несвоевременных (паводочных) затоплений, чреватых гибелью урожая, а с другой – лишает пойму столь необходимых ее почвам влагозапасов и свежего органо-минерального напластка, который, собственно, и обеспечивает плодородие этих почв [Чернов, 1984]. Урожайность пойм снижается, что вызывает экологическую напряженность и требует проведения оросительных мелиораций и внесения удобрений.

Отдельные карьеры строительных материалов на поймах, подъездные пути к ним, сам процесс добычи и погрузки песка снижают рекреационные свойства пойм (хотя при этом и обеспечивают людей строительными материалами), в некоторых случаях стимулируют эрозию поверхностных почв за счет концентрации потоков полых вод.

Размыв пойменных яров безвозвратно уносит пойменные земли, однако в большинстве случаев разрушаются относительно незначительные площади поймы, локализованные в заранее известных и поэтому прогнозируемых местах.

Вырубка лесов на водосборах вызывает усиление неравномерности стока, что, в свою очередь, приводит к повышению уровней весенних половодий и соответственному росту эрозионной способности потока полых вод. Способность эта реализуется, в основном, в руслах, что выражается в усилении размыва берегов. Материал, которым сложены берега, переоткладывается как в русла, так и на поймы, вызывая опесчанивание их поверхностей

[Киселева, Чернов, 1999]. В результате теряются агрикультурные свойства пойм, и в первую очередь, их кормовые качества – продуктивность пастбищ, естественных сенокосов и урожаев кормовых трав.

Более того, по данным Г.П.Бутакова, С.Г.Курбановой, А.А.Перевощикова и др. [Бутаков и др., 2000; Мозжерин, Курбанова 2004], снижение залесенности водосборов на востоке Восточно-Европейской равнины привело к ускорению темпов ежегодного накопления наилка на поймах рек лесостепной и степной зоны примерно в 3 раза – с 6-7 мм/год до 21-22 мм/год и погребению уже сформировавшихся пойменных почв слоем мощностью от 40-50 см в лесной зоне до 100 см в лесостепной и степной зонах. Последнее обстоятельство повлекло за собой снижение плодородия пойменных угодий протекающих там рек.

Вместе с тем, вырубка лесов на зрелых высоких поймах, на которых частота и длительность затопления невелики (1 раз в 10-15 лет на срок от 1 до 2 недель) привело в свое время к возникновению антропогенно обусловленных пойменных лугов, отличающихся высокой урожайностью кормовых трав [Кононов, 1971].

Прогноз экологического состояния таких пойм зависит от вида и степени нарушений экосистем поймы и прилегающих к ней части водосбора. Занесение рек и опесчанивание пойм может постепенно ослабеть и стать незаметным через первые десятилетия после прекращения лесоразработок. В лесной зоне вырубки и заброшенные поля зарастают мелколиственным лесом уже через 5-6 лет после ухода человека, следовательно, в течение последующих десятилетий вполне можно ожидать восстановления природного режима стока и снижение размыва пойменных берегов. То же можно сказать и о карьерах: после окончания разработки они рано или поздно будут занесены. Размыв берегов в нижних бьефах гидроузлов со временем еще больше локализуется (преимущественно на вогнутых берегах излучин), что снизит экологическую напряженность пойм. Негативные последствия обвалования (при отсутствии польдеров) в виде снижения плодородия пойменных почв, напротив, будут продолжаться столь долго, сколь долго будут существовать ограждающие поймы дамбы.

Сильную экологическую напряженность вызывает деградация почвенного и растительного покрова пойм независимо от причин, ее вызвавших. Она может возникнуть и при механическом изменении пойменных почв и растительности из-за неумеренного выпаса скота в связи с резким сокращением длительности и частоты половодий в нижних бьефах гидроузлов и внутри обвалованных пойм или, наоборот, с увеличением длительности и частоты затопления пойм в верхних бьефах гидроузлов из-за снижения уровня грунтовых вод при неправильном осушении и т.д. Во всех этих случаях плодородные пойменные фитоценозы исчезают, а на их месте возникают менее прихотливые степные, полупустынные, болотные или просто сорные фитоценозы.

Прогноз развития пойменных ландшафтов с сильной степенью экологической напряженности уже неблагоприятен: почвенно-растительный

покров будет по-прежнему оставаться обедненным не только при сохранении интенсивности существующих антропогенных воздействий, но и длительное время после снижения интенсивности и числа видов нагрузок (например, после восстановления прежней длительности и частоты затопления пойм и их гидрогеологического режима) из-за очень длительного периода восстановления почв - основы ландшафта.

Предельную экологическую напряженность на поймах вызывают кардинальные изменения пойменного ландшафта, как правило, влекущие за собой безвозвратную потерю земли, ландшафтов, ресурсов на поймах, а зачастую и на прилегающих территориях. К ним относится полный или частичный смыв пойменных почв, происходящий после распахки пойм, произведенной в неблагоприятных для этого гидрологических условиях, уничтожение пойм карьерами и засоление пойменных почв в результате усиленного орошения при плохом дренаже.

При смыве или засолении почв поймы полностью выбывают из сельскохозяйственного оборота; понижение уровней воды в руслах при заполнении емкостей пойменных карьеров затрудняет водозабор из рек, уменьшает перемешивание речных вод, что ухудшает их качество. Чаще всего это негативно влияет и на рекреационные условия, хотя в некоторых случаях отработанные карьеры преобразуются в гидропарки с намывными пляжами и островами.

Предельная экологическая напряженность в другой интерпретации экологических состояний может быть названа кризисной экологической ситуацией [Беркович, 2001]; безусловно, она является не только неблагоприятной, но и опасной для жизни и деятельности людей.

Прогноз развития пойменных ландшафтов, находящихся в кризисной экологической ситуации, весьма неблагоприятен, так как антропогенные изменения, вызвавшие ее, являются в большинстве случаев необратимыми в историческом плане и, кроме того, обладают способностью расширять свое негативное в экологическом плане влияние на прилегающие ландшафты коренных берегов (террас) и аквальные речные ландшафты.

Следует отметить, что не всякое вмешательство человека в пойменные ландшафты, приводит к росту экологической напряженности – иногда бывает и наоборот. Так, вряд ли имеет смысл говорить об ухудшении экологической обстановки на поймах, на которых произведена городская застройка, хотя в этом случае естественные пойменные ландшафты уничтожаются полностью. Удачное вписывание городских кварталов в существовавшую ранее конфигурацию пойменных массивов и сохранившиеся формы естественного пойменного рельефа, использование с рекреационными целями пойменных озер, проток и заводей существенно облагораживает территорию, тем самым улучшая общее экологическое состояние данного городского поселения.

Некоторые экологические последствия антропогенного вмешательства в функционирование речных пойм могут быть оценены не только качест-

венно, но и количественными методами. К ним относятся, в частности, изменения условий затопления пойм, вызванные регулированием стока. При этом одни показатели применимы для малых рек, другие - для больших рек.

Затопление пойм в бытовых условиях происходит при прохождении весеннего половодья и дождевых паводков. При наличии на реке водохранилища часть этого стока задерживается в нем, что изменяет характеристики условий затопления пойм. Коэффициент задержания стока воды по длине реки дает количественную оценку объема стока воды, поступающего ниже створа гидротехнического сооружения, по сравнению с объемом стока, задерживающегося в водохранилище. Определение коэффициента задержания стока воды ($K_{зд}$) может быть сведено к следующему:

1) для каждого водохранилища определяется его полезный объем - объем призмы водохранилища между уровнем мертвого объема (УМО) и нормальным подпорным уровнем - $W_{пол}$;

2) определяется объем стока воды за половодье или паводки 50 %-ой обеспеченности, проходящие через верхний створ водохранилища - $W_{50\%}$;

3) вычисляется коэффициент задержания стока воды:

$$K_{зд} = W_{пол} / W_{50\%} \cdot 100 \%$$

На основе полученных коэффициентов можно проводить количественный анализ степени трансформации стока воды в бассейне реки или его части, а следовательно, и степень изменения условий затопления пойм на этой территории. Очевидно, что чем выше значения $K_{зд}$, т.е. чем больше от общего объема стока задерживается в водохранилище, тем больше степень зарегулирования стока, тем больше снижается при этом высота, длительность и частота затопления пойм ниже по течению, тем больше ухудшается экологическое состояние пойм. Для определения соответствия конкретных значений $K_{зд}$ реальной экологической ситуации на поймах, полученный ряд значений ранжируется по четырем градациям, которым и присваиваются оценки - от слабой до сильной экологической напряженности.

На крупных реках, для которых можно установить данные об условиях затопления пойм, оптимальным показателем изменения гидрологического режима поймы может быть принят непосредственно коэффициент изменения продолжительности затопления - $K_{пр}$:

1) для каждого участка реки ниже створа водохранилища определяется средняя продолжительность затопления поймы за многолетний период в бытовых условиях (d_6) и при зарегулированном режиме (d_3) в днях;

2) определяется коэффициент изменения продолжительности затопления пойм:

$$K_{пр} = (d_6 - d_3) : d_6 \times 100 \%$$

Очевидно, что чем выше этот коэффициент, тем на большее число дней сократилась длительность затопления поймы, что для рек, протекающих по возвышенным пластовым равнинам и имеющих восточно-европейский или восточно-сибирский тип гидрологического режима, может означать ухудшение экологической ситуации, а для рек с Западно-Сибирским типом режима, наоборот, ее улучшение. Для определения связи коэффициента $K_{\text{пр}}$ с реальной экологической обстановкой, ряд значений $K_{\text{пр}}$ также ранжируется по четырем градациям.

Методика географического анализа экологического состояния речных пойм

Характер воздействия некоторых видов хозяйственной деятельности на поймы не является неизменным в пространстве: он зависит от физико-географических особенностей регионов и, следовательно, несет на себе черты физико-географической зональности. Различным будет и экологическое состояние речных пойм, обусловленное этой деятельностью. Это положение можно иллюстрировать примером, как природные условия влияют на экологическое состояние пойм, возникшее под воздействием тех видов деятельности, которые подчинены географической зональности [Беркович и др., 2000].

Выпас скота на поймах в тех условиях, где почвенный покров поймы достаточно велик (более 50 см), отличается плотной дерниной и малым содержанием песка, ведет лишь к уплотнению почвы и локальному сдвигу дернины копытами животных, вызывая, как было сказано, слабую экологическую напряженность на поймах. Подобные условия характерны для пойм лесной, лесостепной и большей части степной зон. В других случаях, где пойменные почвы отличаются относительно малой мощностью и механической неустойчивостью, дерновый покров разбивается копытами животных, наступает деградация почв и растительности, активизируется эоловый перенос песка и под дюнами погребаются участки пастбищ. Экологическая напряженность на таких поймах, типичных для тундр, но особенно для южных степей и полупустынь, становится средней и даже сильной.

Зональность влияния *распашки* поверхности поймы определяется различными условиями прохождения руслоформирующих расходов воды. Известно, что распределение условий прохождения руслоформирующих расходов воды (при затопленной пойме или в пределах пойменных бровок т.е. до полного затопления) по территории России зонально. При распахке пойм, расположенных в зонах, где руслоформирующие расходы воды проходят выше уровня пойменных бровок, высокие половодья смывают верхние горизонты почвы, особенно когда они сформированы на легком (супесчаном) грунте пойменной фации аллювия; в многоводные годы с таких пойм может быть смыт весь почвенный покров, после чего они выходят из сельскохозяйственного оборота. Поэтому распахка пойм в подобных условиях приводит к сильной или даже предельной экологической

напряженности. Та же деятельность, но при прохождении руслоформирующих расходов воды в пределах пойменных бровок, при соблюдении агротехнических правил обработки пойменных почв и свойственного поймам севооборота, вызывает слабую экологическую напряженность [Злотина, Иванов, 1996].

Осушительные мелиорации более типичны для лесной и лесостепной зон, оросительные - наиболее широко распространены на юге лесостепной и в степной зонах. Последствия осушительной мелиорации - чрезмерное снижение уровня грунтовых вод, оросительной - наоборот, чрезмерное его повышение и засоление пойменных почв.

Многие другие виды хозяйственной деятельности воздействуют на экологическое состояние пойм однозначно независимо от внешних физико-географических условий. К ним относится сенокос на механической тяге, разработка карьеров на поймах, регулирование стока рек и обвалование пойм (строительство дорожных насыпей).

Для того чтобы представить себе общую картину экологического состояния речных пойм, его изменчивость в пространстве, связь с физико-географическими условиями, проводится мелкомасштабное картографирование качественных и количественных оценок экологического состояния пойм. На первом этапе проводится мелкомасштабное картографирование частных экологических состояний речных пойм, вызванных воздействием отдельных видов антропогенной нагрузки независимо от того, отличаются они зональным характером распределения или нет.

Интегральную информацию по экологическому состоянию пойм малых и средних рек нагляднее всего можно представить в виде районирования крупных территорий по экологическому состоянию их пойм, а также по степени зарегулированности стока (коэффициенту задержания стока) этих рек. Для этого обобщенная информация об экологическом состоянии пойм таких рек, выраженная в оценочных характеристиках (коэффициентах) и/или в баллах, наносится на карту; затем ареалы с одинаковой качественной и количественной информацией оконтуриваются и становятся районами с различной степенью экологической напряженности на пойменных землях.

Следует подчеркнуть, что районирование любого состояния линейных объектов, каковыми являются речные поймы, возможно только при принятии следующего очень важного допущения: информация, содержащаяся в цвете или штриховке некоторого контура районирования, относится только к объектам районирования (в данном случае, к поймам), независимо от реальной специфики их распространения в пределах этого контура (распространены по всей оконтуренной площади, сосредоточены в линиях или встречаются только в точках) [Чернов, 1997].

Экологическое состояние пойм крупных рек и (отдельно) изменение длительности и частоты их затопления показываются непосредственно в масштабе карты; при этом, данные о гидрологическом режиме, полученные на гидрологических постах, распространяются на морфологически однородные участки рек.

В результате составляется интегральная карта экологического состояния речных пойм, которая содержит в себе как информационный, так и прогнозный элементы. Так, возможность использования пойменных ресурсов в районах со слабой экологической напряженностью пойменных ландшафтов выше, чем с сильной напряженностью. Ресурсоемкость пойм, ландшафты которых находятся в состоянии предельной экологической напряженности, намного ниже, чем других пойм. Первоочередность проведения рекультивационных и предохранительных мероприятий и уровень затрат на них прямо пропорциональны степени экологической напряженности пойменных ландшафтов. Совместная оценка влияния на современное экологическое состояние пойм отдельно каждого вида хозяйственной деятельности и перспектив развития этого вида может дать прогноз изменения экологического состояния пойменных ландшафтов.

ЛИТЕРАТУРА

Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001.

Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Проблемы рационального использования речных пойм в народном хозяйстве // География и природные ресурсы, № 1, 1988.

Беркович К.М., Чалов Р.С. Чернов А.В. Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000.

Бутаков Г.П., Курбанова С.Г., Панин А.В., Перевошиков А.А., Себреникова И.А. Формирование антропогенно обусловленного наилка на поймах рек Русской равнины // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 3. М.: изд-во МГУ, 2000.

Злотина Л.В., Иванов В.В. Устойчивость пойм рек Европейской территории России к антропогенным нагрузкам // Проблемы оценки экологической напряженности Европейской территории России: факторы, районирование, последствия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996.

Киселева Е.Г., Чернов А.В. Влияние природных условий на развитие и использование малых рек Нижегородского Заволжья // География на рубеже веков: проблемы регионального развития. Том II, Курск, 1999.

Кононов К.Е. Пойменные луга средней Лены. Якутск, 1971.

Мозжерин В.И., Курбанова С.Г. Деятельность человека и эрозионно-русловые системы Среднего Поволжья. Казань, 2004.

Чернов А.В. Чтобы повысить плодородие поймы // Сельское хозяйство Молдавии, № 1, 1984

Чернов А.В. Методологические основы географического русловедения // Двенадцатое межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Краткие сообщения. Пермь, 1997.

В.В. Сурков

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

ВОЗМОЖНОСТИ ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОЙМ

Ландшафтно-индикационный метод – один из косвенных методов изучения процессов затопления пойм. Он даёт возможность оценить среднюю, минимальную и максимальную продолжительность затопления поймы на различных уровнях (как за многолетний период, так и в конкретный год), а также построить схему рельефа поймы и определить возможность доступа воды на тот или иной её массив. Метод применяется при недостатке непосредственных наблюдений за затоплением поймы, при редкой сети гидрологических постов или их полном отсутствии, а также при недостаточных данных о рельефе поймы. Он основан на расположении растительных сообществ, почв и природных комплексов на поймах, в соответствии с определёнными высотными «этажами» или ярусами над меженным урезом. Существование на поймах высотных поясов растительности, обусловленных длительностью и частотой затопления, подчеркивалось еще А. М. Дмитриевым [1904] и А. П. Шенниковым [1941]. В поймах существует относительно жёсткая зависимость между условиями увлажнения и растительным покровом, с одной стороны, и между растительным покровом и составом отложений, с другой. Периодические длительные затопления обуславливают жёсткий отбор видов (табл. 1).

Таблица 1

Устойчивость растений к условиям затопления (Нежиховский, 1988)

Растительность	Продолжительность затопления, сутки
Деревья и кустарники	
Ель сибирская	30-45
Пихта сибирская	30-34
Бузина	35-40
Тополь	45-60
Вяз, клён татарский	50-70
Берёза, сосна, крушина, черёмуха, рябина	60-90
Ива белая	90-130
Ива корзиночная, ольха, свина	150
Травянистая растительность	

Продолжение табл. 1

Типчак, ковыль, тимopheевка степная	1-5
Клевер красный, овсяница красная	5-10
Тимopheевка луговая, овсяница луговая, мятлик луговой, клевер ползучий, чина	12-17
Донник белый	10-12
Лисохвост луговой, канареечник	18-25
Костёр безостый	24-28
Пырей ползучий	31-35
Полевица белая, мятлик болотный	25-30
Канареечник тростниковидный, бекмания	30-50
Вейник Лангсдорфа	50 и более

Продолжительность затопления свыше 150 суток никакая растительность, кроме водной и водно-болотной, не выдерживает. Условия затопления низких пойм (100–150 суток) благоприятны для существования некоторых видов ив (корзиночная, остролистная), большинства осок (дернистая, водная, топяная, стройная, береговая и др.), части разнотравья и прибрежно-водной растительности: тростника, рогоза, аира, сабельника болотного, камыша, гравилата речного, ситников, частухи, ежеголовника и др. Первая растительность появляется на побочках и осередках при средней продолжительности затопления 95–100 суток в год. Затопление в 50–100 суток приемлемо для существования вейников, канареечников, хвощей.

Режим затопления средних пойм (30–50 суток в год) допускает существование большинства кустарников (все виды ивы, ольха, свидина, черёмуха, смородина, ежевика, калина) и древесных пород (тополь, берёза, осина, вяз), зонтичного высокотравья и разнотравья (недотрога, дербенник, крестовник, девясил, крапива, наумбургия, норичник, вероника, авран и т. д.), но ограничивает распространение большинства злаков, бобовых и лугового разнотравья, характерного для высоких пойм. Эти виды (лютики, герани, гвоздики, лапчатки, подорожники, клевера, горошки, подмаренники, ежа сборная, пырей, тимopheевка, мятлик луговой и т. д.) встречаются почти исключительно на высоких уровнях при затоплении менее 30 суток. Затопление от 50 до 30 суток и менее благоприятно для встречающихся на высоких поймах сосны, лиственницы, ели, пихты, дуба, клёна, ясеня и других пород деревьев. При нерегулярном кратковременном затоплении (1–5 дней) на поймах возможно появление степных (лесных, тундровых)

элементов растительности и формирование близких к зональным природных комплексов.

Растительность речных пойм отражает малейшие изменения условий затопления. Так, уменьшение продолжительности и частоты затопления поймы верхней Оби в 70-е – 80-е гг. XX в. на 20 - 50% привело к её остепнению: сырые луга и луга среднего увлажнения сменились сухими злаково-разнотравными с большим количеством степных элементов – типчака, ковылей, эспарцетов, тимофеевки степной, подмаренника жёлтого и др. [Сурков, 1998]. Однако после серии высоких половодий в середине 90-х гг. характер растительности стал близок к естественному.

Определённая ярусность прослеживается также в рельефе пойм. На более высоких и удалённых от русла массивах хуже выражены его элементы (гряды, ложбины, межгрядные понижения); меньше амплитуда рельефа. Это связано с постепенным уменьшением, по мере удаления от русла, влияния водного потока на формирование рельефа поймы, и возрастанием влияния зональных рельефообразующих факторов (мерзлотных, эоловых, болотных и др.). На высоких поймах достаточно много зональных элементов рельефа (эоловых дюн и котловин, полигонов, конусов выноса, делювиальных чехлов и т. п.). Четкую ярусность имеет почвенный покров. Низкие уровни занимают примитивные маломощные почвы с зачатками гумусового горизонта и несплошной дерниной. Средние уровни – ареал развития слоистых подтипов дерновых и луговых почв. Затопление здесь уже нерегулярное, а его продолжительность колеблется в широких пределах (от 2 – 3 до 150 суток в разные годы). В связи с этим гранулометрический состав и мощность отлагающегося напластка от года к году меняется, а почвообразование неоднократно прерывается. Слоистость почв здесь очень чёткая: мощность прослоев колеблется от 0,5 до 20 см, а их число может достигать 30 – 50 на 1 м профиля. Общая мощность почвенного слоя достигает 1 – 1,5 м, возникает примитивная дифференциация на горизонты. На высоких редко затопляемых поймах образуются мощные (более 2 м) дерновые и луговые почвы с чётким делением на горизонты и почти не имеющие слоистости. Таким образом, на поймах прослеживаются своеобразные высотные ряды природных комплексов, которые отражают её развитие от примитивных зарастающих русловых форм до сложно построенных береговых массивов (Беркович и др., 1983). Подобных эволюционных рядов в пойменных ландшафтах насчитывается от 2 – 3 до 20 - 25, в зависимости от сложности ландшафтной структуры поймы. В качестве примера можно привести эволюционные ряды поймы р. Се-Яхи (центральный Ямал) (рис. 1).

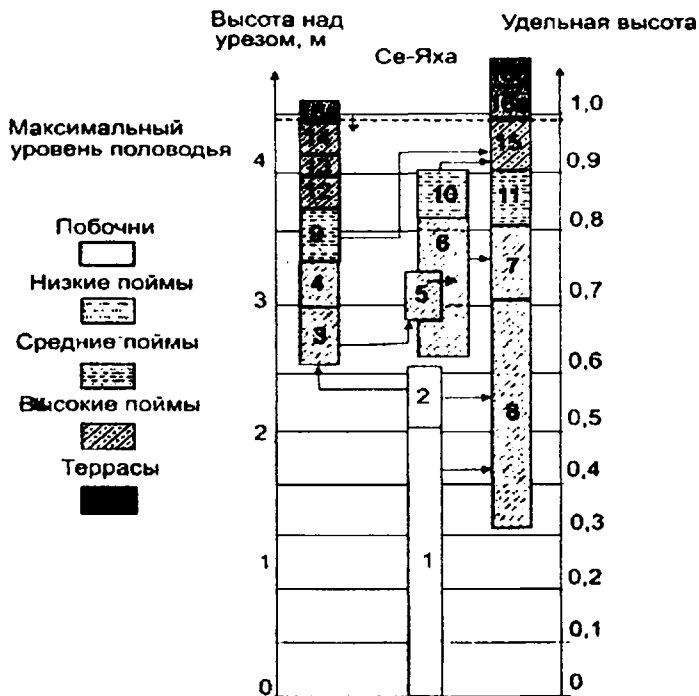


Рис1. Эволюционный ряд природных комплексов поймы р. Се-Яхи. Иловато-песчаные побочни: 1 – лишённые растительности, 2 – зарастающие хвощевыми группировками. Низкие гривистые поймы: 3 – супесчаные, под куртинными хвощево-осоково-злаковыми (арктофилловыми, вениковыми, мяг-ликовыми) лугами на примитивных почвах, 4 – супесчано-суглинистые, занятые злаковыми лугами на слоистых глеевых почвах, 5 – суглинистые и песчаные, с куртинными пушицево-осоково-злаковыми лугами на слоистых глеевых почвах, 6 – межгрядные понижения, занятые пушицево-осоковыми кар-ликовыми ивняками на торфянисто-глеевых почвах. Озерные котловины и депрессии с торфяно-болотными почвами: 7 – под разнотравно-пушицево-осоковыми и пушицево-осоково-сфагновыми болотами, 8 – под осоково-гипновыми болотами. Средние пологогривистые и выровненные супесчано-суглинистые поймы: 9 – под пушицево-злаковыми кустарниковыми ивняками на дерново-глеевых почвах, 10 – под злаково-осоково-моховыми (сфагновыми) ивняками на болотных торфяно-глеевых почвах, 11 – под пушицево-злаково-осоковыми заболоченными лугами с пятнами сфагновых мхов на торфянисто-глеевых почвах. Высокие песчаные и суглинистые поймы: 12 – гривы с разнотравно-злаково-сфагновыми кустарниковыми ивняками на дерново-глеевых почвах, 13 – гривы с моховыми ивняками, 14 – гривы с торфянисто-глеевыми почвами, занятые зеленомошными ивняками с примесью ерника и кустарничков (клюква, голубика, шикша), 15 – межгрядные понижения, занятые осоково-моховыми ивняками на торфянисто-глеевых почвах. Надпойменные террасы и склоны междуречных равнин: 16,а – под кустарничковыми (шикша, брусника, голубика, багульник) гундрами с плотным покровом из зелёных мхов, 16,б – под лишайниково-моховыми кустарничковыми тундрами, 16,в – под тундровыми ерничково-ивняково-моховыми группировками с широким участием кустарничков

Наличие относительно жёсткой зависимости высотного положения природных комплексов от условий затопления создают предпосылки для решения обратной задачи: используя их (или один из их компонентов, например, растительность) как индикатор, можно оценить продолжительность и вероятность затопления того или иного массива поймы. При этом выполняется следующая последовательность действий:

- строится опорный ландшафтный профиль в районе действующего гидрологического поста;
- рассматривается эволюционный ряд природных комплексов с оценкой их высоты относительно меженного уреза;
- производится оценка затопления каждого природного комплекса с помощью таблицы-графика, построенной по данным гидрологического поста – г.п. (рис. 2);
- вычисляется удельная высота (т. е. в процентах относительно максимальной высоты;
- поймы в рассматриваемом ландшафте) каждого природного комплекса;
- уточняется рельеф поймы с помощью ландшафтной карты;
- на основе этих данных создаются схемы затопления поймы, исходя из поставленных задач.

Опорный ландшафтный профиль (наиболее оптимальные масштабы для пойм средних и больших рек: горизонтальный 1: 5000, вертикальный 1: 200) проводится с таким расчётом, чтобы охватить всё многообразие природных комплексов на исследуемой территории.

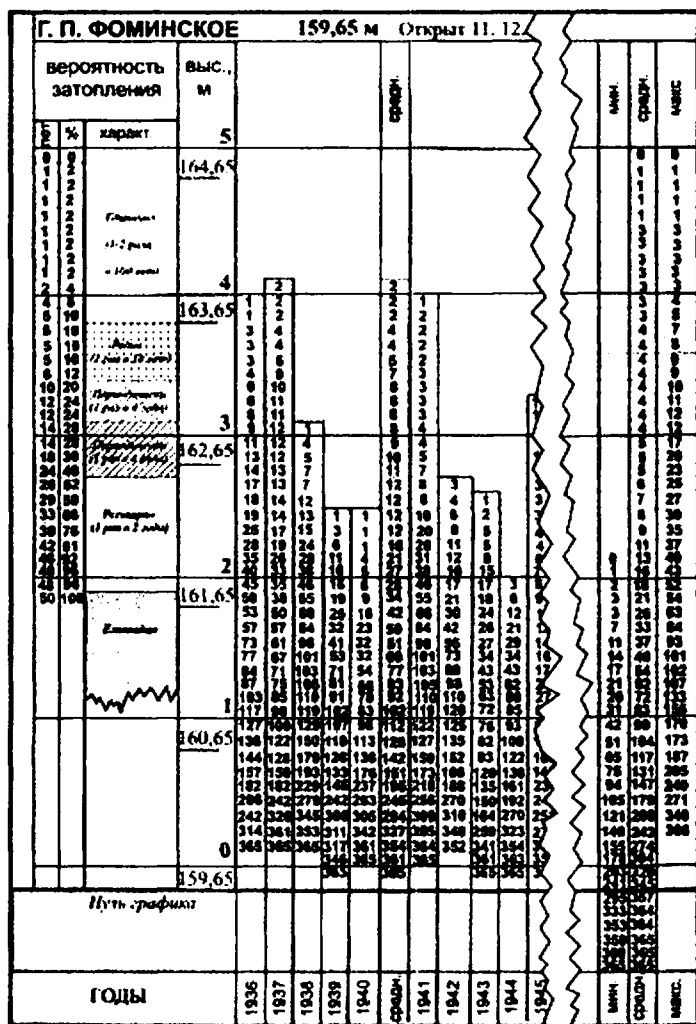


Рис. 2. Таблица-график затопления поймы в районе г. п. Фоминское

Профиль обычно дополняется маршрутной ландшафтной съёмкой поймы. Отметки местности, вычисленные по нивелирному ходу или снятые с топографической карты, привязываются к минимальному меженному урезу. Положение профиля вблизи гидрологического поста позволяет рассчитать продолжительность затопления каждого выделенного на профиле природного комплекса. Для этого необходимо проследить смену природных

комплексов поймы по мере увеличения высоты поймы, определить занимаемый ими высотный интервал, а затем построить специальную таблицу-график по данным гидрологического поста.

В таблице-графике (рис. 2) по горизонтали откладывается время (годы), а по вертикали – высота поймы с интервалом в 10 см. Для каждого 10-см интервала на основании данных о ежедневных уровнях воды рассчитывается продолжительность её стояния в сутках. Она принимается за длительность ежегодного затопления слоя. Суммируя показатели от высоких уровней к низким, мы получим продолжительность затопления различных природных комплексов. Расчёты можно вести как вручную, так и по несложным программам, например, в стандартном пакете *Excel*. За «0» - начало затопления, принимается минимальный меженный уровень. Полученная таблица-график позволяет оценить длительность, среднюю, максимальную, минимальную продолжительность и глубину как полного, так и частичного затопления любого массива поймы в конкретный год и за любой нужный нам срок, наглядно демонстрируя динамику поёмности.

Детальная калибровка ландшафтно-индикационного метода была произведена на пойме верхней Оби в районе с. Фоминское, в 20 км ниже слияния Бии и Катунь [Беркович и др, 1983, Сурков, 1990]. Затопление рассчитывалось по данным расположенного в с. Фоминском гидрологического поста; рельеф поймы строился по данным ландшафтной съёмки. Общая ширина дна долины Оби между устьями рек Чемровки и Песчаной превышает 5 км, из них 3,5 км приходится на пойменные массивы и около 1,5 км занимает русло реки с островами.

Характерной чертой рельефа дна долины верхней Оби в районе с. Фоминского является его ступенчатость, т. е. повышение отметок от прирусловой к притеррасной части. Здесь насчитывается 4 ступени. Наиболее низкая включает песчаные побочни и осередки, острова, прирусловые береговые массивы поймы шириной 500 – 1000 м. Максимальные её отметки составляют 2,5 – 3,3 м над меженным урезом. Русло на этом участке изобилует песчаными побочнями и осередками, большая часть которых возвышается над урезом не более чем на 0,4 – 0,5 м. Они покрыты водой 170 – 200 дней в году, обнажаясь только в глубокую осеннее-зимнюю межень. Их поверхность постоянно перерабатывается водой, льдом, ветром; такой режим препятствует появлению здесь какой-либо растительности. Благоприятная по условиям затопления возможность для появления пионерной растительности существует на отмелях высотой 1 м (здесь средняя продолжительность затопления 83, максимальная – 155 суток). Около этой отметки на бортах боковых второстепенных рукавов и по берегам пойменных протоков появляются хвощи, осоки, некоторые виды разнотравья. Но высокая подвижность побочней и осередков (их смещение достигает 500 м/год) препятствует их зарастанию, из-за чего на песках в основном русле до высоты 1,5 м встречаются только куртины злаков, осок и единичные кусты ивы.

Стабильные косы и осерёдки имеют отметки 1,5 – 1,8 м. Средняя продолжительность их затопления колеблется от 37 до 46 суток, и большую часть вегетационного сезона они остаются над водой. В этом узком интервале располагаются первичные злаковые и разнотравные луга (рис. 3). Первыми на песках поселяются злаки, особенно веинник, который выдерживает затопление до 50 суток, а мощная корневая система позволяет переносить ежегодное засыпание песком и развевание.

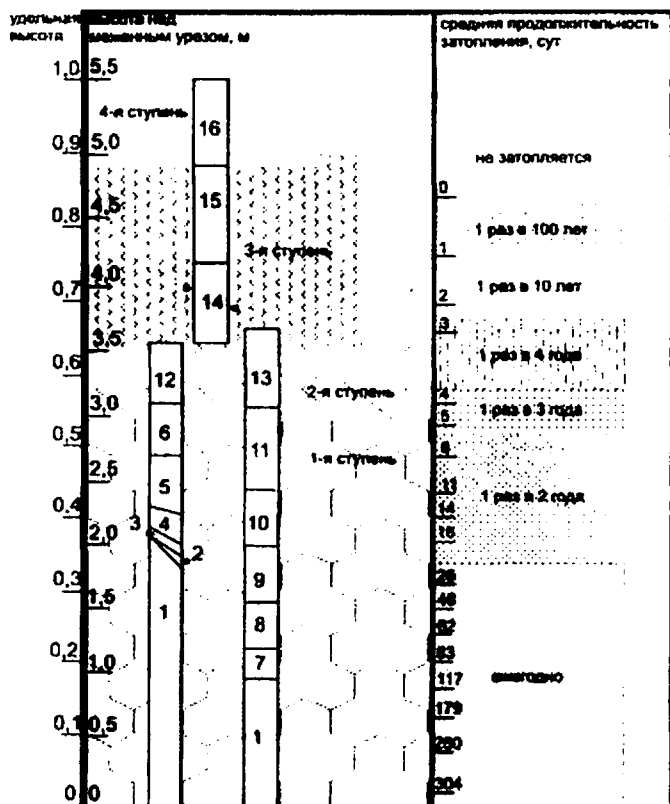


Рис. 3. Основные эволюционные ряды растительных сообществ на пойме верхней Оби у с. Фоминского: 1 – лишённые растительности побочни и осерёдки, 2 – куртинные веиниковые луга, 3 – веинниковые луга с куртинами кустарников, 4 – мелкоствольные низкорослые ивняки и облепихники на примитивных почвах, 5 – ивово-тополёвые и облепихово-тополёвые леса с подлеском из акации, шиповника, смородины, разнотравно-хвощёво-веинниковые на дерновых примитивных почвах, 6 – тополёвники с примесью берёзы и сосны, с подлеском из акации, калины, бузины, разнотравно-хвощёво-злаковые, на дерновых слоистых почвах, 7 – разнотравно-хвощёвые и хвощёво-осоковые луга, 8 – разнотравно-хвощёво-осоковые луга с куртинами ивы и берёзы, 9 – кустарники: ивняки, черёмушники на примитивных почвах, 10 –

ивово-берёзовые, черёмухово-берёзовые и топольво-берёзовые леса, злаково- и хвощёво-разнотравные на луговых слоистых почвах, 11 – топольво-берёзовые и берёзовые леса, злаково-разнотравные с подлеском из рябины, ивы, черёмухи на луговых слоистых почвах, 12 – парковые злаковые топольвники с редким подлеском на луговых почвах, 13 – парковые злаковые березняки с редким подлеском на луговых почвах, 14 – разнотравно-бобово-злаковые (мятликовые, ежовые, пырейные, овсяницевые) луга с единичными берёзами на луговых почвах, пашни, 15 – остепнённые (типчакowo-мятликовые, тимopheчные) луга на лугово-чернозёмных почвах, пашни, 16 – разнотравно-злаковые луговые степи (ковыльные, типчаковые) на чернозёмах, пашни.

Выше отметки 1,8 м пойма затопливается не ежегодно. Средняя продолжительность затопления на этом уровне 18 – 21 день, максимальная – 54, средняя глубина затопления 0,5 м. Из-за подвижности русловых форм их зарастание идёт на больших отметках, при нерегулярном и непродолжительном затоплении, которое допускает существование большинства кустарников. Поросль ивы, облепихи, смородина, черёмуха, берёза появляются почти одновременно с травянистой растительностью. Поэтому высотный диапазон, где формируются первичные луга, очень узок – 30 – 40 см, и они занимают небольшие площади. Вейниковые луга встречаются пятнами на оголовках и в ухвостьях островов, в межгрядных понижениях, на осередках, узкой полосой окаймляя кустарниковые заросли. На молодых островах высотой 2,2 – 2,5 м куртины низкорослой облепихи чередуются с хвощёво-вейниковыми лугами, пятнами молодых ивняков высотой 1 – 3 м и незадернованными участками. Непродолжительное (9 – 20 суток) затопление способствует проникновению сюда видов, характерных для лугов высоких пойм (ежи сборной, мятлика лугового, подмаренников, клеверов, гераней, гвоздик и даже степных видов).

По-иному происходит зарастание во второстепенных и пойменных протоках. Оно начинается намного ниже – с отметок 0,8–1 м (затопление 83 – 95 суток), а местами – 0,5 – 0,6 м (140 суток). Некоторые виды ивы могут переносить затопление до 3 – 5 месяцев, причём затопляемые с молодого возраста деревья более устойчивы, чем редко затопляемая «взрослая» древесная растительность [Нежиховский, 1988]. Большинство осок, часть злаков (канареечник, мятлик болотный), многие виды разнотравья (мытник, девясил, чихотная трава) продолжают вегетировать и даже цвести в период затопления. Поэтому в боковых второстепенных протоках, на более тонком и «малоподвижном» аллювии, ивняки и первичные луга распространены на более низких отметках, а берега старичных понижений заросли практически от уреза. Куртинные разнотравно-хвощёвые и осоково-хвощёвые луга занимают значительный интервал высот – 0,8 – 1,3 м (рис. 3). Затопление здесь продолжается 60 – 105 суток. Иловато-песчаные днища старичных понижений и пойменных проток зарастают тростником, рогозом, осоками, влаголюбивым разнотравьем (чистец болотный, аир, сусак зонтичный и др.); тростниковые займища спускаются до отметок 0,4 – 0,9 м, где продолжительность затопления достигает 100 – 170 дней. На отметках 0,9 – 1 м происходит смыкание пионерных группировок, проективное

смыкание пионерных группировок, проективное покрытие лугов увеличивается до 70 – 80%. Выше отметок 1,2 – 1,3 м (затопление 60 – 75 дней) первичные луга начинают зарастать кустарниками: появляются всходы ивы, тополя, берёзы, выше отметки 1,5 м начинается формирование примитивных почв. На высоте 1,8 м, где вдоль основного русла произрастают только куртины ивы, во второстепенных и пойменных протоках уже господствуют ивняки, а с 2,3 – 2,4 м – кустарники: облепиха, ежевика, свидина, смородина. Высота кустарников увеличивается до 5 – 7 м. Таким образом, на низких поймах первой ступени существуют два экологических ряда растительных сообществ со своими характеристиками затопления (рис. 3).

Интервал 1,8 – 2,7 м затапливается 1 раз в 2 года (вероятность затопления 49 – 97%), 2,7 – 3,3 м – 1 раз в 3 – 5 лет (22 – 49%). Место кустарников и первичных лугов занимают мелкоствольные ивняки (интервал высот 2 – 2,4 м, продолжительность затопления 3 – 16 суток); ивово-тополёвые леса (2,4 – 2,7 м; 5 – 8 дней), тополевики с густым кустарниковым подлеском (2,5 – 3,3 м, 4 – 5 дней). Кроме характерных для низких пойм вейников, канареечников, хвощей и осок, значительную долю травостоя этих лесов составляет высокое разнотравье бурьянистого характера.

Вторая и третья ступени образуют центральную пойму. Вторая ступень имеет отметки 2,9 – 3,5, местами до 3,8 м. Она вытянута широкой (0,9 – 1,7 км) полосой по левому берегу Оби; выше устья р. Песчаной выходит к её руслу. Третья ступень занимает внутренние части левобережной поймы, протягиваясь полосой шириной до 2,2 км между реками Песчаная и Ануй. Относительные высоты по её поверхности изменяются от 3,5 м в понижениях приречной части до 5,0 м в тыловых частях. Основная поверхность второй ступени имеет вероятность затопления 20 – 50%, т.е. 1 раз в 3 – 5 лет, третьей – 2 – 10%, т.е. не чаще 1 раза в 10 лет. Средняя продолжительность затопления, соответственно, равна 3 – 6 и 1 – 3 дням. Уменьшение продолжительности затопления до 10 суток и менее создаёт условия для распространения лугового разнотравья и ксерофитов. Лесная растительность прирусловых пойм уступает место лугам, слоистые и примитивные почвы замещаются луговыми и дерновыми. Вдоль пойменных яров второй ступени еще встречаются парковые тополёвники с примесью берёзы и разреженным подлеском из акации, облепихи и боярышника (высота этих массивов 3,3 – 3,6 м), а вдоль старичных понижений (2,4 – 3,2 м) – более густые черёмухово-берёзовые и ивово-берёзовые леса. В центральных частях ступени леса исчезают, здесь господствуют разнотравно-бобово-злаковые луга среднего увлажнения. Единично на лугах встречаются высокие берёзы, кусты боярышника, ивы, шиповника, заросли акации. Естественная растительность третьей ступени представлена остепнёнными лугами, но они сохранились на небольших участках. Четвёртая ступень высотой 4,8 – 5,5 м, на которой расположено с.

Усть-Ануй, почти полностью распахана. За весь период наблюдений на г. п. Фоминское не было отмечено случаев её затопления. Только в экстремально высокое половодье 1969 года вода проникала в окраинные её части. Её природные комплексы фактически развиваются в зональных условиях. Здесь сохранились остатки разнотравно-тонконогово-типчаковых степей и островных березняков (колков); почвы по морфологии близки к зональным чернозёмам.

Детальная ландшафтная съёмка поймы в районе гидрологического поста позволила уточнить рельеф поймы и построить схемы затопления поймы как по средним показателям (рис. 4), так и за определённый годы.

С помощью ландшафтно-индикационного метода можно построить карты затопления поймы не только непосредственно в районе гидрологических постов, но и на достаточно удалённых участках. Подобная методика применялась для оценки затопления пойм рек Сухоны, Юга и Северной Двины в районе г. Великий Устюг [Алабян и др., 2003, Крыленко и др., 2004]. Высота поймы по долине реки неодинакова, и отметки одних и тех же природных комплексов над меженным урезом тоже меняются. Чтобы сопоставить их высотное положение, вводится понятие «удельная высота». В пределах дна долины реки выделяются морфологически однородные участки, на которых ширина поймы не изменяется. На больших и средних реках они совпадают с пойменными ландшафтами. Удельная высота природного комплекса вычисляется в сотых долях от максимальной высоты поймы в каждом ландшафте. Как показали исследования на поймах рек Оби [Сурков, 1999] и Северной Двины [Алабян и др., 2003] эта удельная высота для одних и тех же природных комплексов остаётся постоянной, несмотря на то что высота поймы над меженным урезом меняется по долине реки. Исключения составляют случаи *вертикальных смещений* природных комплексов, как правило, связанные с техногенным влиянием на русло и водный поток. Например, сложенные суглинками гривы высоких пойм с дерново-глеевыми почвами, занятые елово- и ольхово-берёзовыми лесами с примесью сосны и подлеском из ивы, рябины, черёмухи на пойме Сухоны (максимальная высота 10 м) располагаются выше 6,2 м над меженным урезом.

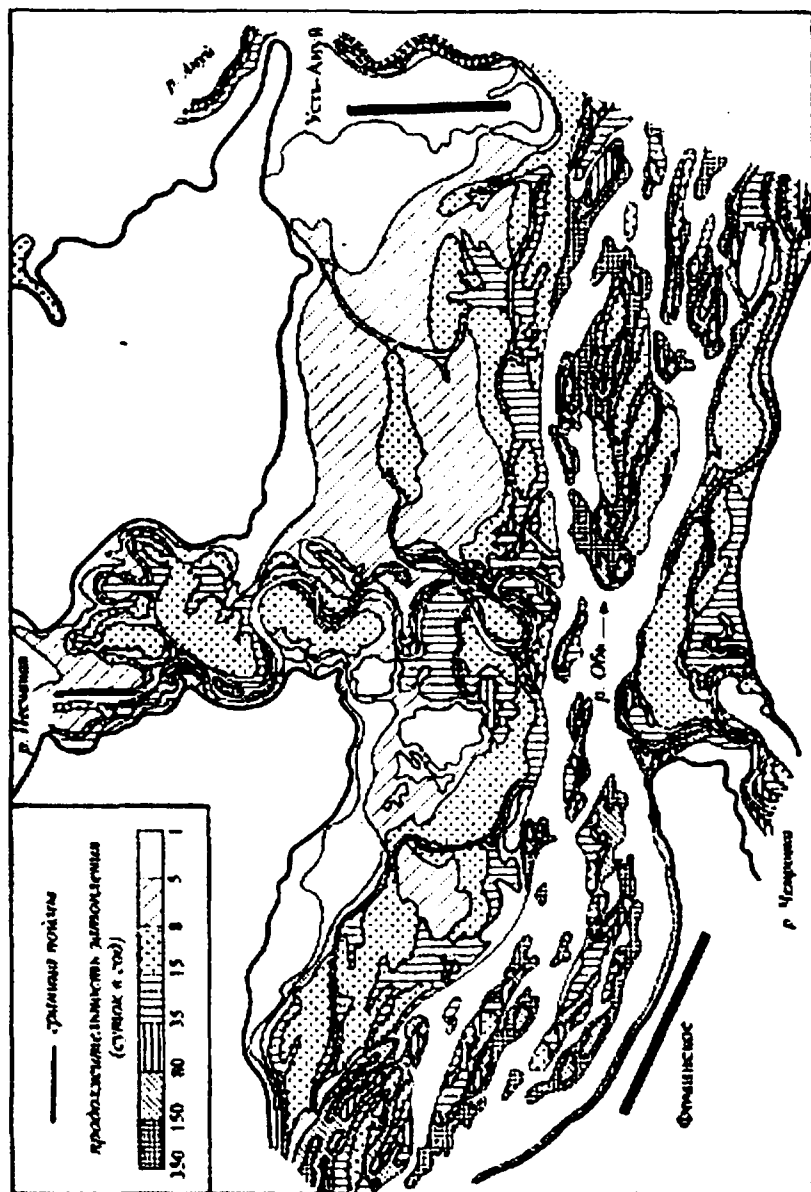


Рис. 4. Средняя продолжительность затопления поймы у с. Фоминского.

На пойме р. Юга (максимальная высота 6,5 м) они спускаются до 4,5 м, а на пойме Северной Двины (максимальная высота около 7 м) – до 4,9 м. Удельная высота нижней границы этих природных комплексов во всех случаях одна и та же – 0,60 – 0,62, и режим их затопления примерно одинаков – 1 – 6 суток 1 раз в 4 года. Разнотравно-хвощёво-злаковые (лисохвостно-костровые) луга с большим количеством купальниц и одуванчиков на пойме Сухоны располагаются в интервале высот 4,0 – 4,8 м, а на пойме Северной Двины – 3,2 – 4,0 м. Их удельная высота 0,4 – 0,5, они затопляются на 7 – 18 суток 8 раз в десятилетие.

По созданным ландшафтным картам и опорным профилям, учитывая данные гидрологических постов Великий Устюг, Медведки, Гаврино и Калинкино, были построены схемы затопления поймы, учитывающие средние, максимальные, минимальные сроки, а также вероятность затопления (рис. 5).

Ландшафтно-индикационным методом можно оценить затопление поймы, даже не имея данных гидрологических постов. Для этого необходимо проводить подбор пойм-аналогов со сходной ландшафтной структурой и известным водным режимом.

Ландшафтно-индикационный метод позволяет строить карты пойменного рельефа, существенно сокращая геодезические работы. Для этого необходимо привязывать опорные ландшафтные профили к реперам геодезических сетей, и проводить горизонтали по контурам ландшафтных таксонов в соответствии с основными особенностями рельефа. Таким путём был отстроен рельеф пойм рек Надуй, Се-Яха и Морда-яха в районе пос. Бованенково на центральном Ямале (рис. 6). Ширина пойм здесь местами превышает 20 км. Метод дал удовлетворительные результаты, учитывая достаточно жёсткие привязки растительных сообществ и природных комплексов на поймах тундровых рек их положению над меженным урезом. [Сурков, 2002]. Как и любые косвенные методы, ландшафтно-индикационный имеет существенные недостатки. Приходится допускать, что пойма затопливается только из русла, а вода удаляется с нее одновременно с понижением уровня воды в реке. Однако из-за сложного рельефа пойм больших рек это условие не всегда выполняется: высота берегов неодинакова, из-за прирусловых валов она не совпадает с высотой поймы. Затопление пойм идёт не через бровку, а по логам - старичным понижениям и пойменным протокам. Возможность затопления того или иного массива зависит не только от его высоты, но и от возможности доступа воды. Каждый природный комплекс занимает определённый интервал высот, и длительность его полного и частичного затопления существенно различаются. Большую сложность представляют пониженные тыловые части пойм и замкнутые изолированные депрессии, которые часто затопливаются не из русла, а вследствие таяния снега или водотоками, стекающими со склонов долины. Вода в них застаивается на более длительный срок, формируются своеобразные гидроморфные комплексы. Колебания уровня воды на гидрологическом посту и

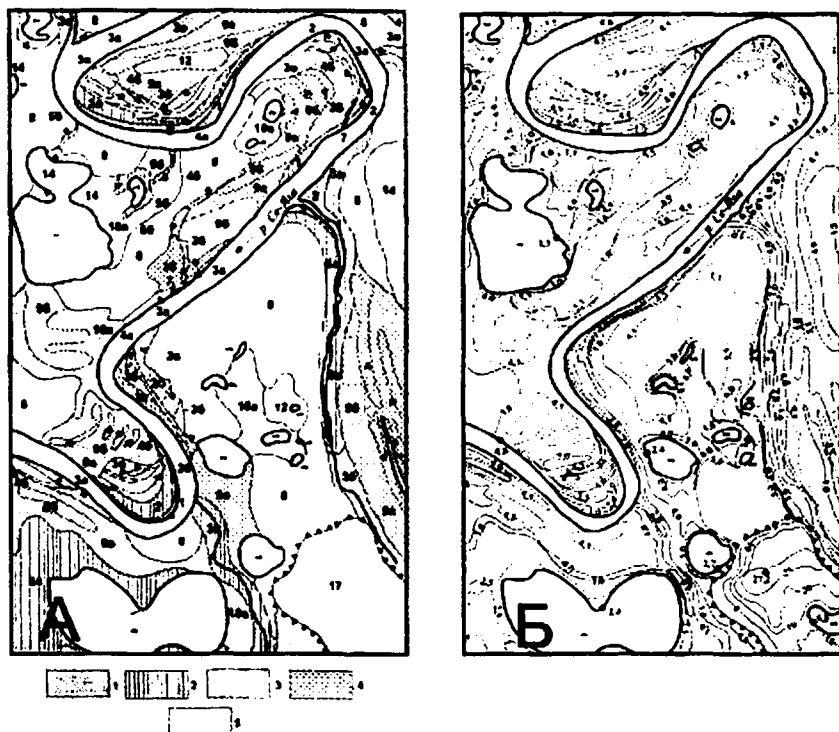


Рис. 5. Вероятность затопления территории в районе г. Великого Устюга (фрагмент): 1 - ежегодное, 2 - 8 - 9 раз в 10 лет, 3 - 1 раз в 2 года, 4 - 1 раз в 3 - 5 лет, 5 - 1 раз в 5 - 8 лет, 6 - 1 раз в 10 лет, 7 - 1 раз в 20 - 50 лет, 8 - граница города.

Рис. 6. Рисовка пойменного рельефа по ландшафтной карте. А - Ландшафтная карта и относительная высота природных комплексов: 1 - менее 2 м над урезом, 2 - 2 - 3 м, 3 - 3 - 4 м, 4 - 4 - 5 м, 5 - более 5 м; Б - рельеф поймы.

рассматриваемом участке дна долины по разным причинам не всегда одинаковы. Высотные границы луговых сообществ нестабильны, они смещаются «вверх и вниз» в зависимости от высоты и длительности конкретного половодья. При использовании ландшафтно-индикационного метода необходимо учитывать *вертикальные смещения* растительных сообществ и природных комплексов. Они могут иметь как естественный, так и техногенный характер. Так, в нижних бьефах гидроузлов, зонах карьерных разработок в руслах из-за посадок уровней природные комплексы прирусловых (а иногда и центральных пойм) смещены на более низкие «по сравнению с обычными условиями» отметки. Высокая подвижность русловых форм препятствует их зарастанию, и часто природные комплексы пойм вдоль основного русла формируются на более высоких отметках, чем на бортах второстепенных

рукавов. При использовании ландшафтно-индикационного метода наиболее точные результаты режима затопления получаются для островов, прирусловых пойм, ступенчатых пойм, периодически действующих протоков. Для пойм, имеющих широкие притеррасные зоны, результаты получаются заниженными. Ошибки здесь могут достигать 50 – 200%. Относительно точные результаты характеристик затопления можно получить при наличии длительного, 40 – 50-летнего, ряда наблюдений на гидрологическом посту. В этом случае можно составить достаточно надёжные схемы затопления поймы, пригодные для оценки средних и максимально возможных параметров затопления и их повторяемости.

ЛИТЕРАТУРА

Алабян А. М., Алексеевский Н. И., Евсеева В. А., Жук В. В., Иванов В. и др. Генетический анализ причин весеннего затопления долины Малой Северной Двины в районе г. Великого Устюга // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 14. М.: МГУ, 2003.

Беркович К. М., Злотина Л. В., Рязанов П. Н. Эволюционный ряд островных и прирусловых природных территориальных комплексов поймы верхней Оби // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр., № 2, 1983.

Дмитриев А. В. Луга Холмогорского района. СПб, 1904.

Крыленко И.Н., Самохин М. А., Сурков В. В. Опыт применения различных методов исследований при анализе режима наводнений в районе г. Великий Устюг (р. Малая Северная Двина) // Труды IV конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. ИВП РАН, 22 – 26 ноября 2004 г. М., 2004.

Нежиховский Р. А. Наводнения на реках и озёрах. Л.: Гидрометеиздат, 1988.

Сурков В. В. Режим затопления поймы верхней Оби и тенденции его изменения // Человек и вода. Томск: изд-во Томск. ун-та, 1990.

Сурков В. В. Динамика природных комплексов поймы верхней Оби в условиях сокращения её затопления // География и природные ресурсы. 1998, №2.

Сурков В. В. Динамика пойменных ландшафтов верхней и средней Оби. М.: Географич. ф-т МГУ. 1999.

Сурков В. В. Природные территориальные комплексы пойм рек Центрального Ямала // География и природные ресурсы, № 2, 2002.

Шенников А. П. Луговедение. Л.: изд. Лен. ун-та, 1941.- 511 с.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РУСЛОВОГО И ПОЙМЕННОГО ПОТОКОВ НА ТРАНСПОРТ ДОННЫХ НАНОСОВ

Из-за недоучета стока донных наносов происходит большое количество различных аварий: разрушение мостовых переходов, водозаборов и др. К сожалению, методика их измерений на равнинных реках является несовершенной, что приводит к погрешностям, значительно превышающим допустимые. Поэтому на сети Гидрометслужбы наблюдения за стоком донных наносов не производятся. Еще большие погрешности получаются при измерениях на горных реках. Именно отсутствие надежных приборов и методов измерения расходов руслообразующих наносов обусловило разработку большого количества расчетных формул, позволяющих с той или иной степенью точности рассчитывать их сток.

Очень важной является оценка этих формул на основе натурного материала. Интересные результаты расчетов привел на III Всесоюзном гидрологическом съезде инженер В.Е.Любимов. Используя данные натуральных измерений донных наносов, перемещавшихся в безгрядной и донногрядной фазах и выполнив расчеты по формулам Г.И.Шамова, В.Н. Гончарова и И.И.Леви, он пришел к следующим выводам:

- результаты расчетов расхода наносов по этим формулам иногда дают близкие к натурным данным результаты. При этом формула Шамова преуменьшает расход наносов. Формулы Гончарова и Леви для наносов крупностью $0,20 \text{ мм} < d < 0,40 \text{ мм}$ дают вполне удовлетворительные результаты, но по формуле Леви нулевой расход наносов при малых скоростях получается тогда, когда уже наблюдается перемещение наносов, что объясняется несовершенством формулы для расчета критических скоростей;

- для песков крупностью $d < 0,15 \text{ мм}$ формулы Шамова и Леви мало пригодны, а формула Гончарова дает преувеличение.

Более поздняя формула К.В. Гришанина аналогичного вида практически никем не проверялась и не оценивалась. Оценка всех этих формул, выполненная в РГГМУ, показала их недостаточную эффективность.

На данный момент известно свыше 200 формул для расчета стока донных наносов. Для упрощения анализа многие авторы [Барышников, 1984; Гришанин, 1992 и др.] разделяют их на группы на основании определяющего параметра.

В 2004 г. в ГГИ под руководством З.Д. Копалиани был выполнен анализ формул для расчета расходов донных наносов, которые были разделены им на:

- формулы, основанные на использовании касательных напряжений в качестве определяющего аргумента;
- формулы, использующие в качестве определяющего аргумента расход воды;
- формулы, использующие в качестве определяющего аргумента среднюю скорость потока;
- формулы, использующие в качестве определяющего аргумента уклон свободной поверхности;
- формулы, основанные на вероятностном описании движения донных наносов;
- формулы, использующие в качестве определяющего аргумента мощность потока;
- формулы, выведенные на основе регрессионных зависимостей;
- формулы, учитывающие движение крупных донных наносов в структурной форме.

Результаты исследования были проиллюстрированы графиком зависимости $G=f(Q)$ (рис 1).

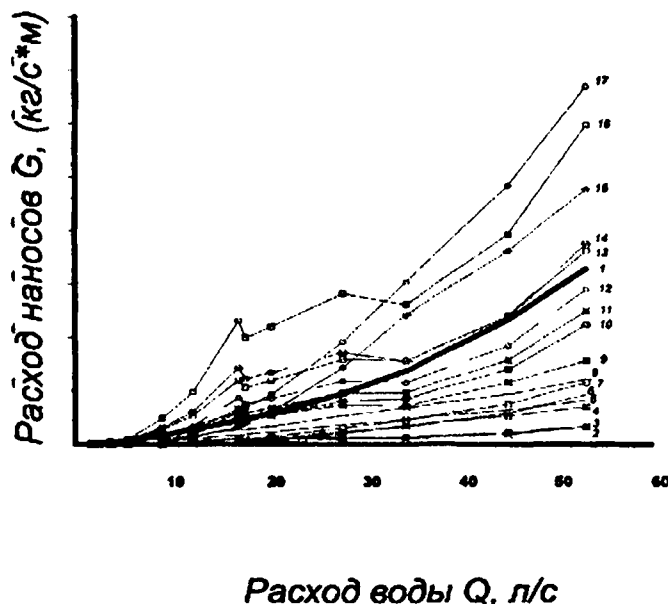


Рис 1. Расчетные и натурные зависимости $G=f(Q)$: 1-17 - по различным формулам и экспериментальным данным в гидравлическом лотке

Наилучшее совпадение расчетных данных, с данными полученными по измерениям в лотке (для бесструктурного транспорта донных наносов)

получены по формулам Г.И. Шамова (зависимость 16 на рис. 1):

$$G = 0,95 \sqrt{k} V^3 N_k^3 (V - V_k) (\kappa/h)^{0,25}$$

и Л.Г. Гвелесиани (зависимость 13)

$$g = 12,95 \frac{dv_c}{\left[\lg \frac{12d_{\max} + d}{d} \right]^2 \left(\frac{v^3}{v_c^2} - 1 \right) \cdot \left(\frac{v}{v_c} - 1 \right)},$$

где

$$v_c = 3,4 \frac{\lg \left(\frac{8,8H}{d} \right)}{\lg \left(\frac{12d_{\max} + d}{d} \right)} \sqrt{d}.$$

Хорошие результаты также получены по методикам Г. Эйнштейна и Ф. Лорсена, а для грядового режима движения - по формулам Б.Ф.Снищенко - З. Д. Копалиани:

$$q = 0,011hVF \text{ м}^3/\text{с},$$

где $h_c = 0,25h$, при $h < 1$ м и $h_c = 0,20 + 0,1h$, при $h > 1$ м – по Б.Ф.Снищенко и

$$h_r = 0,39d \left(\frac{V}{V_0} \right)^{2,5} Fr^{-3,75} \text{ – по З.Д. Копалиани.}$$

З.Д. Копалиани и Б.Ф. Снищенко [2002] считают, что формула получена для условий динамического состояния гряд установившегося профиля, поэтому результаты расчетов по ней дают близкое соответствие с натурными данными для всего диапазона высоких концентраций донных наносов (рис. 2). В качестве исходной была использована информация по грядовому режиму перемещения наносов, полученная при измерениях на реках Волге, Тереке, Туапсе, Мзымте и других малых реках Кавказского побережья Черного моря.

В то же время необходимо учитывать фактор релаксации, т.е. запаздывания процесса переформирования гряд от изменения гидравлических характеристик потока, что существенно затрудняет использование натурной информации, когда неясно, от каких гидравлических характеристик зависят параметры гряд. Поэтому, к сожалению, эти данные нельзя признать надежными, так как они получены после прохождения паводков. Учитывая, что реки одновременно переносят наносы различной крупности и что роль различных фракций наносов различна в формировании морфологии русла,

поймы и русловых форм, вопрос о формах движения наносов в процессе их транспорта (донное влечение, сальтация, взвешивание и донные гряды) приобретает важное значение при решении ряда практических задач. Большинство расчетных зависимостей для определения расходов донных наносов включает тот или иной вид зависимостей для определения критических скоростей. Результаты расчетов по формулам различных исследователей [Гришанин, 1992; Барышников, Самусева, 1999] при этом оказываются существенно отличны друг от друга. При сравнении формул с данными измерений часто используются случайные данные, без надлежащей идентификации и анализа видов и форм (бесструктурный, структурный) движения донных наносов и фаз (паводок, межень) водности реки. Часто формулы, предложенные для песчаных наносов, используются для более крупных частиц, или формулы, рекомендуемые для донных наносов, используются для расчета суммарного расхода наносов.

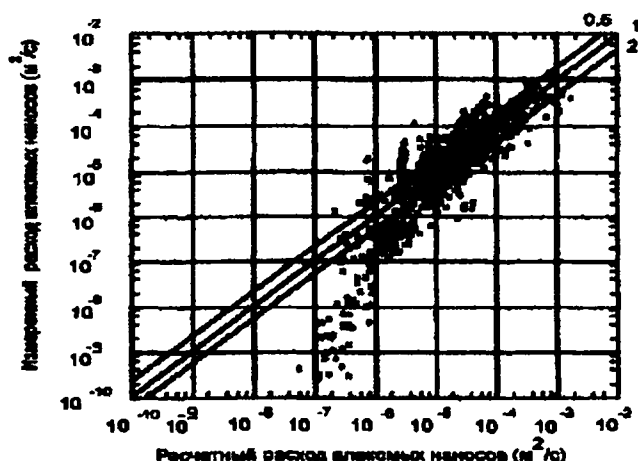


Рис. 2. Результаты сравнения измеренных и расчётных значений расходов донных наносов по формуле ГГИ

Более сложной является проблема транспорта наносов в период паводков и половодий. Рядом авторов [Железняков, 1981; Барышников, 1984] разработаны типизации процессов взаимодействия потоков, в основу которых положено взаимное расположение их динамических осей. На кафедре гидрометрии была разработана типизация процессов взаимодействия руслового и пойменных потоков, основанная на учете морфологического строения участка, расположенного ниже расчетного створа (см. рис. 1 в статье Н.Б. Барышникова и др. в настоящем сборнике).

Было установлено, что пойменный поток, как правило, оказывает тормозящее воздействие на русловой поток. При этом транспортирующая способность руслового потока под влиянием пойменного (при параллельности их динамических осей) уменьшается на 10-15%. После выхода воды на пойму при некотором значении h_p расход наносов в русле достигает минимума и затем снова возрастает. Это происходит из-за уменьшения пропускной способности руслового потока под влиянием пойменного.

Как показывает анализ натурной информации [Великанова, Ярных, 1970; Кондратьев и др., 1982], при больших углах растекания масс руслового потока по пойме наблюдается резкое и весьма существенное увеличение уклонов водной поверхности. В качестве примера на (рис. 3) приведены кривые зависимости $I=f(H)$ для рек Десны и Пьяны.

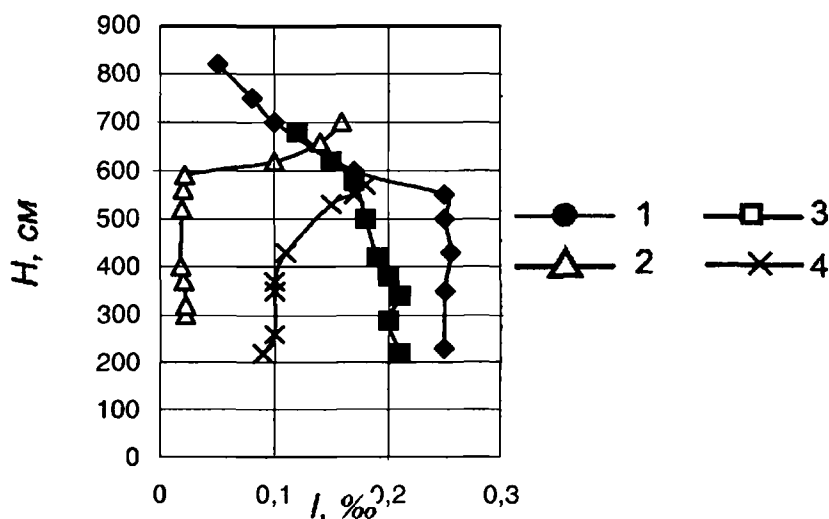


Рис.3. Зависимости $I=f(H)$ для разных типов взаимодействия потоков: 1 - Ветлуга - Быстри; 2 - Пьяна - Камино; 3 - Вига - Шартаново; 4 - Десна - Разлёты (реки Пьяна и Десна - второй тип; реки Ветлуга и Вига - третий тип)

Как видно на рис. 3, после выхода воды на пойму на р.Пьяне ($H_{\text{вых}} = 590$ см) уклон водной поверхности резко увеличивается от 0,02 до 0,115 ‰, т.е. примерно в шесть раз при увеличении уровней всего на 60-70 см, а затем стабилизируется. На р.Десне после выхода воды на пойму ($H_{\text{вых}} = 340$ см) уклон водной поверхности увеличивается незначительно и только после затопления бровки прируслового вала ($H = 450$ см) наблюдается его интенсивное увеличение от 0,08 до 0,18 ‰, т.е. на 0,1 ‰ при увеличении уровня примерно на 140 см [Барышников, 1984]. Такой характер изменения укло-

нов водной поверхности является типичным для участков рек, на которых наблюдается второй тип взаимодействия потоков. Интенсивность изменения уклонов водной поверхности при увеличении уровней воды определяется величиной угла α между динамическими осями потоков. По-видимому, при увеличении уровней рост скоростей руслового потока должен привести к значительному увеличению транспортирующей способности руслового

потока, так как $G_p = \alpha \left(\frac{V}{V_k} \right)^{3-4}$, где α - параметр, зависящий от круп-

ности наносов и глубины потока.

При третьем типе взаимодействия наблюдается другая картина. Как видно на рисунке 4, при выходе воды на пойму ($H_{\text{вых}} = 560$ см) на р. Ветлуге начинается существенное уменьшение уклона от 0,25 ‰ до 0,05 ‰, т.е. в 5 раз. Аналогичные результаты получаются и на р. Виге, где до уровня $H_{\text{вых}} = 600$ см было отмечено незначительное, а затем весьма существенное, уменьшение уклона при изменении уровня от 600 до 690 см. При этом уклон уменьшился от 0,16 ‰ до 0,11 ‰. Подобное изменение уклонов водной поверхности характерно для третьего типа взаимодействия потоков, т.е. при схождении осей руслового и пойменного потоков. Такое изменение уклонов наблюдается в период спада уровней. Влияние угла α на пропускную способность руслового потока возрастает, и при его значениях равных $\alpha \approx 90^\circ$ средние скорости руслового потока уменьшается до нуля. В этом случае, транспортирующая способность руслового потока настолько уменьшается, что все наносы оседают в русле и их движение прекращается.

Учитывая, что натурные данные крайне ограничены и, как правило, не доступны, на кафедре гидрометрии были проведены эксперименты по изучению влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока.

Первые эксперименты по выявлению влияния этого эффекта на транспортирующую способность руслового потока были проведены в 50-е гг. XX в. в РГГМУ под руководством Н.Б.Барышникова [1984]. Эксперименты производились в малом гидравлическом лотке с переменным уклоном, где было смоделировано русло шириной 0,2 м с поймой шириной 0,2 м и длиной 2,8 м. Глубина русла (до бровки поймы) составляла 0,05 м. Оси русла и поймы на экспериментальной установке были параллельны. Поверхность поймы и дно русла покрыты стеклом толщиной 4 мм. Эксперименты выполнялись по разработанной в РГГМУ методике, в соответствии с которой измерения производились в русловом потоке, изолированном от пойменного тонкостенной стеклянной перегородкой. Расходы наносов при этом измерялись объемным способом. Одновременно измерялись скорости течения и расходы воды. Последние измерялись как с помощью водослива, так и методом скорость - площадь. Измерения выполнялись по всей амплитуде колебаний уровня, примерно через 1 см. Анализ результатов экспериментов

показал, что под влиянием эффекта взаимодействия потоков резко уменьшается транспортирующая способность руслового потока (рис.4).

Как видно, для условий изоляции руслового потока от пойменного получена однозначная зависимость $G_p=f(h)$, а зависимости при взаимодействии потоков существенно отклоняются влево от неё, т.е. в сторону уменьшения расходов наносов. Величина этого уменьшения тем больше, чем больше шероховатость поймы. Аналогичное расположение кривых зависимостей $G_p=f(Q)$. В то же время данные измерений как для изолированного руслового потока, так и при его взаимодействии с пойменным образуют единую зависимость $G_p=f(V)$, хотя отклонения точек, соответствующих условиям взаимодействия потоков от этой кривой, немного больше, чем для изолированного руслового потока.

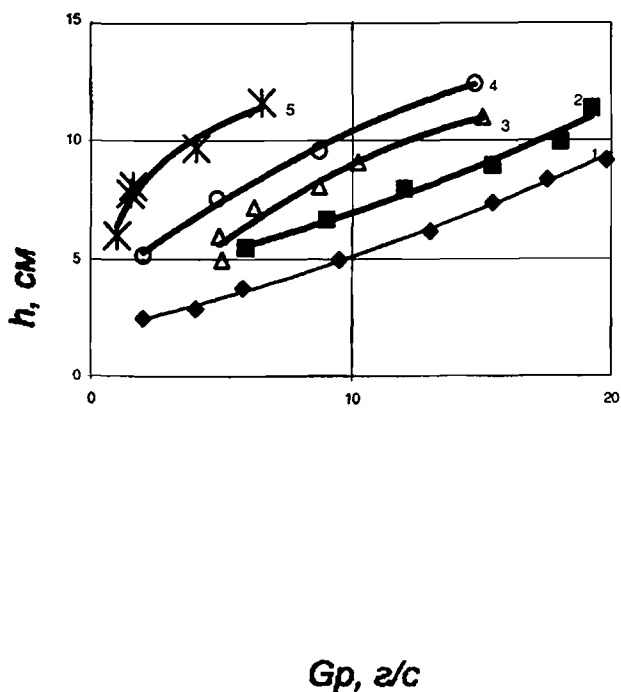


Рис.4. Зависимость $G_p=f(h)$: 1 - изолированное русло; 2,3,4,5 - русло с поймой шероховатостью k_n соответственно 0,5, 1, 2 и 3 см.

Учитывая ограниченные размеры установки 60-х гг., в 2003-2004 гг. в РГГМУ были проведены аналогичные эксперименты, но в расширенном диапазоне и в большем по размеру лотке с переменным уклоном. Размеры последнего: длина 6,0 м и ширина 0,6 м. Поверхность поймы шириной 0,35 м и дно русла шириной 0,25 м выполнены из стекла толщиной 4 мм. При этом была применена такая же методика проведения экспериментов, как и в 60-е гг., т.е. эксперименты сначала выполнялись при изоляции руслового и пойменного потоков тонкостенной стеклянной перегородкой, а затем при взаимодействии потоков. Принципиально новым явилось проведение экспериментов при слиянии руслового и пойменного потоков под углом $\alpha=20^\circ$. Измерения скоростей и других параметров потоков осуществлялось в трех створах, расположенных на расстоянии 1,5, 2,5 и 3,5 м от входного створа. На рис. 5 приведены зависимости $G_p=f(h)$ как для условий изолированного руслового потока от пойменного, так и при их взаимодействии при параллельности динамических осей потоков и при их схождении под углом $\alpha = 20^\circ$.

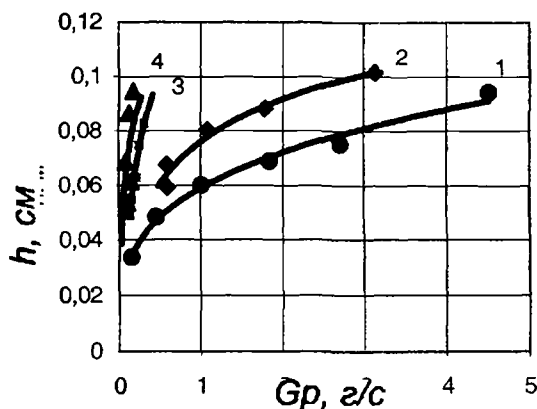


Рис. 5. Зависимость $G_p=f(h)$: 1 - изолированное русло; 2 - русло с поймой при параллельности их осей; 3-4 - русло с поймой при сходящихся осях под углом $\alpha = 20^\circ$ с гладкой и шероховатой поймой соответственно

Как видно, данные соответствующие взаимодействующим параллельным потокам располагаются левее аналогичных, но для изолированного русла. При этом кривая $G_p=f(h)$, также как и кривая $G_p=f(Q)$, располагаются значительно левее кривой для условий изолированного русла. При третьем типе (пойменный поток вторгается в русловой под углом $\alpha = 20^\circ$), его транспортирующая способность уменьшается еще более значительно и соответственно кривые $G_p=f(h)$ и $G_p=f(Q)$ располагаются значительно левее (рис. 5) аналогичных кривых, соответствующих взаимодействующим потокам, но при параллельности их динамических осей.

Результаты экспериментов позволили установить значительное снижение транспортирующей способности руслового потока при воздействии на него пойменного. Действительно, при параллельности осей потоков она уменьшилась в 1,5 раза, а при схождении потоков под углом 20° в 15 раз. При шероховатой пойме и сходящихся потоках транспортирующая способность уменьшилась в 22 раза.

Следует отметить, что экспериментальные исследования влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока в настоящее время продолжаются. Целью этих исследований является оценка влияния эффекта взаимодействия на транспортирующую способность руслового потока при различных типах взаимодействия на моделях большего размера. В то же время последующие экспериментальные исследования направлены на выявления влияния эффекта на транспорт наносов русловым потоком в период подъема уровней, когда наблюдается наибольший сток наносов, и в периоды спада уровней. По-видимому, при спаде уровней, когда воды пойменного потока поступают в русловую, в натуральных условиях также должно наблюдаться резкое уменьшение транспортирующей способности руслового потока.

В то же время результаты экспериментов 2003 г. имеют и существенные отличия от аналогичных, проведенных в 60-е гг. XX в.. Это особенно наглядно иллюстрируется зависимостями $G_p = f(V)$ (рис. 6). Как видно, каждому типу взаимодействия потоков соответствует своя кривая зависимости $G_p = f(V)$. Последние отклоняются влево от аналогичной кривой для изолированного руслового потока. Величина этого отклонения тем больше, чем больше шероховатость поймы (при параллельности осей потоков) и наибольшая при схождении осей под углом 20° .

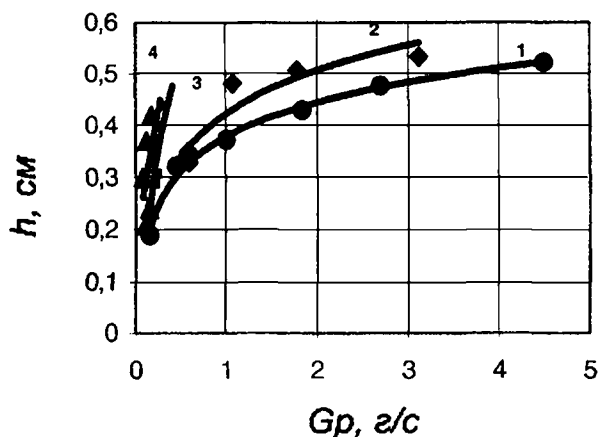


Рис. 6. Зависимость $G = f(V)$. Условные обозначения приведены на рис. 4.

Проведенные экспериментальные исследования по выявлению воздействия эффекта взаимодействия потоков на транспортирующую способность руслового потока позволили установить следующее:

- при параллельности динамических осей руслового и пойменного потоков транспортирующая способность руслового потока уменьшается в 1,5 – 5 раз (в зависимости от соотношения расходов руслового и пойменного потоков);

- при схождении динамических осей взаимодействующих потоков транспортирующая способность руслового потока резко (в 20 – 22 раза) уменьшается (по сравнению с изолированным русловым потоком);

- при проведении экспериментов не удалось избежать воздействия эффекта пространственности;

- основной причиной изменения транспортирующей способности руслового потока является воздействие эффекта взаимодействия потоков на уклоны водной поверхности, следовательно, на средние скорости руслового потока;

- целесообразно провести экспериментальные исследования при других типах (и углах) взаимодействия потоков, тем более, что при условии плавноизменяющегося движения процесс взаимодействия руслового и пойменного потоков в натурных условиях при подъёме уровней близок ко второму, а при спаде – к третьему типам взаимодействия потоков.

ЛИТЕРАТУРА

Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм – Л.: Гидрометеиздат, 1984.

Барышников Н.Б., Самусева Е.А. Антропогенное воздействие на саморегулирующуюся систему бассейн – речной поток – русло. СПб.: изд. РГГМУ, 1999.

Великанова З.М., Ярных Н.А. Натурные исследования пойменного массива в высокое половодье. // Труды ГГИ., Вып., 183, 1970.

Гришанин К.В. Гидравлическое сопротивление естественных русел. СПб.: Гидрометеиздат, 1992.

Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. Л.: Гидрометеиздат, 1981.

Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисченко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982.

Копалиани З.Д., Снисченко Б.Ф. Оценка стока наносов рек южного склона Кавказского хребта Краснодарского края. // Отчет НИР ГГИ. СПб.: 2002. Рукопись, фонд ГГИ.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ РУСЛОВОГО И ПОЙМЕННОГО ПОТОКОВ ПО ДВУХСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ ТЕЧЕНИЯ

Пойма – один из важных компонентов долинного комплекса реки. Являясь по своей сути переходной областью между руслом, в основном заполненным текущей водой, и надпойменными террасами и склонами долины, т.е. той частью долинного комплекса, поверхность которой не подвергается затоплению. Пойма, как правило, занимает большую часть пространства долины и относится к ее днищу. Продолжительность затопления поймы полыми или паводковыми водами, наряду с процессами переработки рекой рельефа днища долины, а также второстепенные факторы, такие как гравитационные, солифлюкционные, мерзлотные, дефляционные процессы, растительность, освоенность, благодатной для сельскохозяйственной деятельности пойменной территории и др. определяют ступенчатость и характер ее рельефа. Как правило, на пойме можно выделить несколько разновысотных, генетически определенных поверхностей со сравнительно однородным рельефом и ландшафтами.

Самые низкие, прирусловые уровни являются, по своей сути, частью русла, так как подвержены затоплению при наполнении русла водами даже невысоких паводков. Большинство низких пойм имеют схожий с русловым рельеф. Низкие поймы в основном представляют собой возвышенные поверхности донных форм, покрытые растительным покровом. В теплых широтах приречные растения произрастают в мелкой воде в условиях снижения активного воздействия потока, способствуя накоплению ила и формированию низкой поймы. Самые низкие уровни поймы следуют вдоль русел постоянных и временных долинных потоков или окаймляют старичные понижения, маркируя ложбины внутри вышележащих пойменных ступеней.

Более высокие уровни пойменных поверхностей затопляются, как правило, на малый срок, а самые высокие уровни, даже не ежегодно. Высокие пойменные ступени отделены от русловой части сравнительно высокой бровкой, очерчивающей ее границы. При приближении потока к бровке поймы формируется подмываемый яр. Генетически рельеф пойм резко различается на гривистый и ложбинно-островной. Это деление вызвано наследованием поверхностью поймы двух совершенно разных геоморфологических процессов руслоформирования: образования извилистого (меандрирующего) русла и многорукавного (разветвленного на рукава) русла. Ряд

исследователей выделяют различные по морфологии пойменные территории. Общим для пойм является наличие выраженного прируслового вала, слагающего приречную часть поверхности. Каждая ступень поймы имеет пониженную тыловую часть. Подобный рельеф можно встретить на любой пойменной ступени. Однако с ростом высоты ступени, или, как принято считать, с возрастом пойменной поверхности, рельеф ее становится более пологим. В целом, несмотря на схожесть, рельеф пойменной поверхности существенно отличается от руслового вследствие подключения целого ряда других факторов, ответственных за его формирование. На поймах, в основном преобладают процессы аккумуляции наносов над эрозией. Примерно вдвое большая шероховатость поверхности поймы, по сравнению с русловой, при выходе воды на пойму вызывает резкий спад скорости течения и вследствие этого мощную аккумуляцию наносов. Результатом является наличие прибрежных (прирусловых) валов. Далее, в глубине поймы скорости течения невысокие благодаря распыластности потока по ее широкой поверхности, сравнительно малым глубинам и, опять же, высоким значениям коэффициентов шероховатости, в первую очередь по причине присутствия растительности.

Основная гидравлическая роль поймы заключается в пропуске большого расхода воды в редкие, но многоводные периоды половодья или паводка. Возможность аккумулировать большие объемы воды в короткий период времени и более медленная отдача воды при понижении уровня являются важнейшими регулирующими свойствами поймы. На реках с большими уклонами (например, в горах или предгорьях) регулирующая роль поймы невысокая. На равнинных территориях наблюдается обратная картина. Высота и ширина поймы, а также ее рельеф, как и растительность, являются главными факторами регулирования поступившего с водосбора объема водной массы, не уместившейся в пределах русловых бровок. На обжитых и освоенных территориях учета регулирующего воздействия поймы при строительстве дорог, заселения пойм разработки карьеров практически не проводятся. Инженерные расчеты, рекомендованные СНиПом, затрагивают только безопасность самих инженерных сооружений. Причем, скорости течения на поверхности поймы, в отличие от русла, чрезвычайно малы, поэтому расчету течений на поймах уделено мало места. В результате резко нарушается регулирование стока поймами. Как следствие, все более существенное освоение пойм человеком становится причиной резкого роста катастрофических наводнений в последнее время.

Пойменные потоки, вследствие некоторого отличия их рельефа от руслового, имеют достаточно сложную структуру течения. Поэтому двумерный расчет течения на поймах традиционными инженерными способами не проводится. Кроме этого, как показали работы Г.В.Железнякова [1981] и Н.Б.Барышникова [1984], в местах контакта пойменного и руслового потоков наблюдается их взаимодействие, вы-

званное разной направленностью векторов скоростей течения. В ряде случаев это приводит к возникновению так называемого кинематического эффекта: резкому снижению скорости течения (энергии потока) при начале слива воды в пойму и ее росту при дальнейшем повышении уровня воды и существенном затоплении поймы. Здесь следует отметить, что при затоплении поймы резкий прирост уровня чрезвычайно редок, так как емкость поймы по сравнению с руслом, особенно для равнинных рек, очень высокая. Г.В.Железняков исследовал кинематический эффект в лотках, где можно было искусственно наращивать объемы воды, вплоть до затопления поймы до уровня, сравнимого с уровнем в русле. На практике подобные явления наблюдаются редко. Однако в любом случае расчет взаимодействия руслового и пойменного потоков чрезвычайно важен при решении задачи одновременного расчета течений на пойме и в русле.

При численном решении двухмерной задачи расчета течений мелкой воды с применением уравнений Сен-Венана при затопленной пойме целесообразно разделить русловый и пойменный потоки. Подобная задача для двухслойной модели течения была разработана А.Н.Милитеевым и В.В.Беликовым [1992]. Ее численное решение позволило приступить к расчету реальных потоков [Беликов, Милитеев и др., 2003]. Сущность двухслойной модели течения в следующем.

Распространение паводка в долинах рек с затопленной поймой имеют сложную структуру. Направления движения руслового и пойменного потоков обычно не совпадают, происходит перетекание воды из русла на пойму и обратно. Криволинейные очертания русел и границ поймы в плане существенное различие в размерах русловых и пойменных участков создают дополнительные трудности при разработке численных алгоритмов расчета. Размеры расчетной области для таких задач зачастую составляют десятки и сотни километров. Для крупных рек ширина пойм измеряется километрами и десятками километров, а ширина русел - сотнями метров. Поэтому очевидно, что стандартные двумерные уравнения мелкой воды не могут быть непосредственно применены для описания рассматриваемого класса задач, поскольку не позволяют учитывать (в силу осреднения в двухмерной постановке задачи по всей глубине потока) разные направления скорости течения ниже и выше бровок русла. Поэтому необходимо либо использовать трехмерные уравнения гидродинамики (что является общим, но весьма трудоемким и дорогостоящим подходом), либо разрабатывать специальные математические модели, с одной стороны, учитывающие особенности изучаемого явления, а с другой, допускающие возможность численного моделирования реальных объектов.

Двухслойная модель течения подразумевает разделение руслового и пойменного потоков на два слоя по вертикали: слой воды над поймой и над руслом выше бровок и слой воды в русле ниже бровок (рис. 1). Кроме того,

для узких, по сравнению с шириной поймы русел принимается такой масштаб пространственного осреднения, что течение в русле может быть описано в одномерной постановке, а течение на пойме - в двумерной.

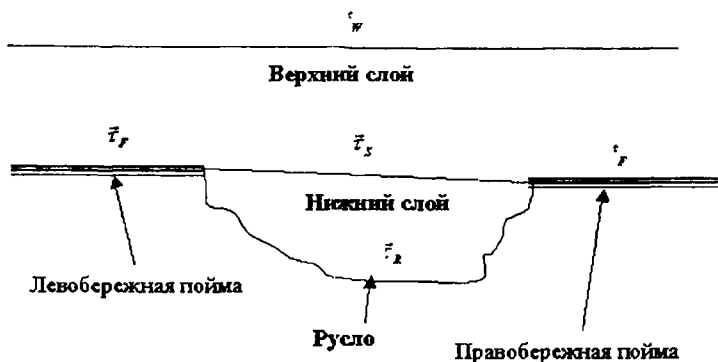


Рис.1. Двухслойная схематизация русло-пойменного потока.

Исходная математическая модель состоит из двумерных (осредненных по глубине) уравнений движения для верхнего слоя (1), одномерного уравнения движения для нижнего слоя (2) и общего уравнения неразрывности (3):

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} + \frac{\partial q_j u_j}{\partial x_j} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x_i} = \tau_{Fi} - \tau_{Si} + \tau_{wi}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QU}{\partial S} + g\omega \frac{\partial \zeta}{\partial S} = (\tau_{Si} B + \tau_{Ri} \chi) S_i, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial q_i}{\partial x_i} + \frac{\partial (UH)}{\partial S} = q_0. \quad (3)$$

В этих уравнениях $i, j = 1, 2$; по повторяющимся индексам производится суммирование; t - время; x_i - декартовы координаты в плане; $\vec{q} = (q_1, q_2)$ - вектор удельных расходов воды в верхнем слое; h - толщина верхнего слоя; $\vec{u} = \vec{q} / h$ - вектор средней по глубине скорости в верхнем слое; g - ускорение свободного падения; ζ - уровень свободной поверхности воды; $\vec{\tau}_S, \vec{\tau}_F, \vec{\tau}_R, \vec{\tau}_w$ - векторы касательных напряжений на границе раздела верхнего и нижнего слоев, на поверхности поймы, на дне русла и на свободной поверхности воды соответственно, причем $\vec{\tau}_S = 0$ вне русла, а

$\vec{\tau}_F = 0$ вне поймы; Q - полный расход в бровках русла; S - координата вдоль русла; $\vec{s} = (s_1, s_2)$ - единичный вектор вдоль русла; ω - площадь поперечного сечения русла в бровках; $U = Q/\omega$ - средняя скорость воды в бровках русла ($\vec{U} = (U\vec{s})$); B - ширина русла в бровках; χ - смоченный периметр русла в бровках; $H = \omega/B$ - средняя глубина русла в бровках; q_0 - осадки. Последнее слагаемое в левой части уравнения неразрывности (3) отлично от нуля только в границах русла, а величины H, ω становятся зависящими от ζ при падении отметок свободной поверхности в русле ниже его бровок.

Неизвестными в уравнениях (1)-(3) являются четыре функции q_1, q_2, Q, ζ . Все остальные переменные величины выражаются через них, так что для замыкания системы достаточно определить касательные напряжения на верхних и нижних поверхностях каждого из двух слоев. Касательные напряжения на дне русла, на поверхности поймы и на свободной поверхности воды принимаются в соответствии с квадратичным законом сопротивления:

$$\vec{\tau}_R = \lambda_R \vec{U} |\vec{U}| / 2, \vec{\tau}_F = \lambda_F \vec{U} |\vec{U}| / 2, \vec{\tau}_W = \lambda_W \vec{W} |\vec{W}| / 2, \quad (4)$$

где $\vec{W}$ - вектор скорости ветра, а коэффициенты гидравлических сопротивлений вычисляются по формулам

$$\lambda_R = 2g n_R^2 R^{-1/3}, \lambda_F = 2g n_F^2 h^{-1/3}, \lambda_W = 5,6 \cdot 10^{-7}, \quad (5)$$

в которых n_R, n_F - коэффициенты шероховатости русла и поймы, соответственно; $R = \omega/\chi$ - гидравлический радиус потока в бровках русла.

Для определения касательных напряжений между слоями 1 и 2 заметим, что в двухслойной схеме единственный вектор, не связанный с движением координат - это разность скоростей в верхнем и нижнем слое. Поэтому на поверхности раздела $\vec{V} = \vec{u} - \vec{U}$;

$$\vec{\tau}_S = \lambda_S \vec{V} |\vec{V}| / 2; \quad (6)$$

где коэффициент гидравлического трения между слоями λ_S однозначно определяется из требования совпадения гидравлических характеристик прямолинейного равномерного потока при расчете по двухслойной и однослойной схемам:

$$\lambda_S = \lambda_R \frac{\chi}{B} \frac{h}{h+H} \sqrt[3]{\frac{\lambda_R}{\lambda_*}} \quad (7)$$

где $\lambda_* = 2gn_R^2 R_*^{-1/3}$, $R_* = R(1+h/H)$.

Анализ этих формул показывает, что при условии $h \ll H$

$$\lambda_S \approx 36\lambda_R \frac{\chi}{BH} \quad (8)$$

и, следовательно, касательные напряжения на границе раздела стремятся к нулю при глубине верхнего слоя, стремящейся к нулю. При условии $h \gg H$ коэффициент трения между слоями равен

$$\lambda_S \approx \lambda_* \frac{\chi}{B} \quad (9)$$

и в пределе отношения $h/H \rightarrow \infty$ также стремится к нулю. Из зависимости $\lambda_S B / \lambda_R \chi$ от отношения глубин h/H видно, что в характерном для реальных паводков диапазоне изменения глубин коэффициент гидравлического трения между слоями в 4-8 раз (при условии $\chi/B \approx 1$) превосходит коэффициент трения о дно русла, то есть близок к коэффициенту сопротивления поймы. Максимальное значение λ_S достигается при $h/H = 0,95$. Однако, как видно из графика (рис. 2), быстрый рост коэффициента трения между слоями происходит в момент затопления поймы до момента, когда глубины на пойме и в русле будут сопоставимы. Далее, при увеличении уровня затопления поймы происходит плавное снижение величины коэффициента трения.

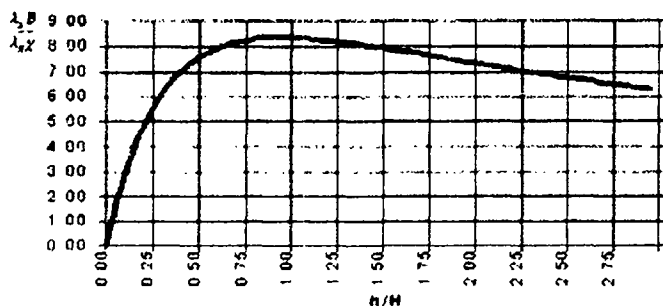


Рис. 2. Теоретическая зависимость коэффициента гидравлического трения между слоями от отношения глубин на пойме и в русле.

Расчеты проводятся на смешанных треугольно-четырёхугольных сетках, имеющих нерегулярную топологическую структуру. Такие сетки легко «привязать» к извилистым руслам и особенностям рельефа. Общие принципы численного компьютерного моделирования приведены в работах [Беликов и др., 2001, 2002]. На их основе проведено компьютерное моделирование некоторых участков рек с различной морфологией при затопленной пойме.

Кама, в своем среднем течении на отрезке от плотины Воткинской ГЭС до области выклинивания кривой подпора Нижнекамского водохранилища является крупной рекой. Ширина русла с островами составляет около 1 км, примерно такую же ширину имеет пойма, она соизмерима с шириной русла. Пойма на этом отрезке сравнительно узкая и высокая. В связи с зарегулированностью стока она затопливается только в экстремально высокие половодья, когда производятся весенние сбросы воды из водохранилища. Низкая пойма, сформировавшаяся вдоль второстепенных проток, покрывается водой высоких попусков практически ежегодно. Для затопления высоких пойменных ступеней требуется расход воды более $6000 \text{ м}^3/\text{с}$, уровень воды поднимается на 6,5 м. При расходе воды свыше $7000 \text{ м}^3/\text{с}$ практически вся пойма покрыта слоем воды, глубины на пойме в этот период в среднем составляют около 1,5 м. При затоплении поймы скорости течения в основном русле на плесах, где происходит сосредоточение потока, несмотря на существенный прирост глубин, возрастают примерно на 10%. На перекатах даже наблюдается относительное снижение скорости течения. На пойме скорости течения существенно затормаживаются и составляют всего 50-40% от русловых. Причем наименьшие скорости наблюдаются в прирусловой части, где на пойме развит грядистый рельеф. В тыловой части поймы, в пойменном понижении, происходит рост скорости течения. Наиболее существенно скорости течения возрастают в пойменных ложбинах, там, где ложбины сохраняют очертания бывших рукавов, поток сосредоточивается. Его скорости приближаются к русловым и местами достигают $0,8 \text{ м/с}$. Проведенный на период 8-10 лет расчет русловых переформирований с использованием уравнения деформации указывает на то, что участок, для которого проведено компьютерное моделирование, в период прохождения аномально высоких расходов воды в основном аккумулирует наносы. Причем наибольшая аккумуляция наблюдается в местах расположения комплекса прирусловых гряд и достигает 2-х м. Однако в местах сужения русла и в глубоких пойменных ложбинах наблюдаются размывы. В русле за 10 лет они могут достигнуть 4-х и более метров, на пойме – 0,5 м. Именно в местах эрозионного вреза по пойме проложены трубопроводы, поэтому здесь потребуются провести комплекс мероприятий для предотвращения размывов. В целом регулирующая роль поймы на этом отрезке Камы невысокая.

Широкая пойма моделировалась на 40-километровом участке средней Лены с целью решения комплекса водохозяйственных задач. Река в районе

г. Якутска представляет собой крупный поток, имеет разветвленное на рукава русло. Среднегодовой расход воды более $7000 \text{ м}^3/\text{с}$. Средняя по высоте пойма начинает затопливаться при расходе воды свыше $23000 \text{ м}^3/\text{с}$, а при расходах более $42000 \text{ м}^3/\text{с}$ затоплена большая часть поверхности долины, за исключением вершин высоких пойменных грив и надпойменных террас. Ширина затопленной поймы составляет 6-12 км, при средней ширине основного рукава около 2000 м. Построенная модель составлена из более 500000 дискретных точек. Расчеты проведены по треугольной сетке с количеством ячеек около 70000. Перепад глубин в русловой части от дна плесовых лощин до вершин высоких массивных гряд составляет 18,5 м. Диапазон высот на пойме существенно меньше – 7,5 м. Период наводнения поймы зависит от водности года и варьирует от 20 суток в маловодный и до 60 суток в многоводный год. В основном заливаются низкие уровни поймы и ложбины средневысотной поймы. Высокие уровни, приводящие к затоплению высокой поймы редки и непродолжительны. Пойма играет большую водорегулирующую роль, так как может аккумулировать огромные массы воды. Документально зафиксированный максимальный расход воды, на этом отрезке реки составил $55000 \text{ м}^3/\text{с}$. Однако значение расхода воды является оценочным, вследствие трудоемкости измерения в реальных условиях при столь обширной пойме со сложным рельефом. Моделирование позволяет оценить направления и объем пойменных потоков. Однако в перспективе следует разработать способы проверки расчетных данных. В качестве начальных условий принят рельеф участка, выраженный в численной форме, а также характер подстилающих грунтов и растительности. Граничные условия определялись суммарным расходом воды (гидрометрический пост Табага) и высотой водной поверхности в нижней части участка (водомерный пост Якутск). Оба поста расположены на концах участка. В результате расчетов кинематики потока при затопленной пойме в расчетных ячейках определены векторы скорости течения (рис. 3) и уклоны водного зеркала при расходе воды $42000 \text{ м}^3/\text{с}$. Падение водной поверхности на протяжении 40 км при расчетных расходах составляет 2,7 м. Основной поток воды сосредоточен в русловой части. Максимальные скорости в этот период достигают 2,2 м/с. На пойме скорости течения редко превышают русловые на 20%.

Рассмотрим соотношение пойменного и руслового потоков в начале разветвленного участка и в его конце. Верхний участок характеризуется собранным главным руслом и крупными островами, разделенными пойменными мелководными протоками, функционирующими, в основном, при наполнении русла и пересыхающими в период зимы. Средняя ширина русловой части составляет 2300 м при общей ширине долины 11,5 км. На нижнем участке, кроме пойменной, развита русловая многорукавность. Основной поток разделен надвое крупным островом, в русле имеются и другие более мелкие острова. Острова, составляющие прибрежную пойму, имеют сравнительно небольшие размеры. Основное русло имеет ширину 4500 м при общей ширине долины 10,5 км, т.е. долина в целом постепенно сужается

вниз по течению главным образом благодаря большому распространению массивов высокой поймы.

При расходах воды более $42000 \text{ м}^3/\text{с}$ поток переливается на пойму и почти полностью ее заливает. Скорости течения в основном русле достигают 2-х и более м/с, в пойменных протоках скорости течения составляют примерно 50% от тех значений, что наблюдаются в главном рукаве. На самой пойме поток имеет скорости течения примерно 20% от русловых. Это достаточно высокие значения скорости при условии того, что перелив через прибрежные русловые валы наблюдается повсеместно в сторону поймы. В тыловой части поймы скорости течения заметно снижаются. В нижней части разветвленного участка происходит преимущественно слив воды с поверхности поймы в сторону пойменных проток. Поток, следующий вдоль поймы, собирается в пойменных ложбинах и во второстепенных рукавах. Слив воды из глубинной части поймы происходит с малыми скоростями, в то время как пониженные части поймы и пойменные протоки, куда стекает вода, более активны, чем в начале разветвленного участка. Здесь скорости течения в пойменных протоках составляют примерно 70% от скорости потока в основном русле, на низкой пойме эта величина составляет 30%, на высокой - всего 5-10% от русловой.

Наибольшие напряжения в потоке, вследствие роста горизонтальных градиентов скорости, возникают в местах подхода течения под углом к бровке берегового откоса. В результате это постепенно приводит как к образованию глубокой плесовой ложины вдоль берега, так и к обрушению самого берега. Подобная ситуация наблюдается в районе пос. Нижний Бестях, расположенного у правого берега в месте перевала основного потока реки подходит к уступам берега под углом 40° , течение сосредоточивается, происходит вытягивание вдоль берега плесовой ложины. В результате наблюдается мощный размыв берегового яра, что приводит к обрушению находящихся возле бровки берега построек. На протяжении ряда лет поток подмывал выдвинутый в реку мыс высокой надпойменной террасы. В последние годы, сместившись вниз по течению, поток подошел к кромке поймы, находящейся за уступом террасы ниже по течению. При затоплении поймы следовало бы ожидать некоторое снижение горизонтального вектора скорости и, соответственно, некоторое уменьшение темпов размыва берега. В действительности так и происходит. Даже на небольшом фрагменте поймы происходит резкое торможение поверхностного слоя скорости течения, однако это мало сказывается на ее осредненном по вертикали значении. Высокие пойменные ступени практически не снижают значения величины осредненной по вертикали скорости, вследствие этого горизонтальные градиенты скорости практически остаются прежними. Низкая пойма, даже ее сравнительно узкие фрагменты, примыкающие к более высоким ступеням, вызывает большие эффекты снижения скорости потока

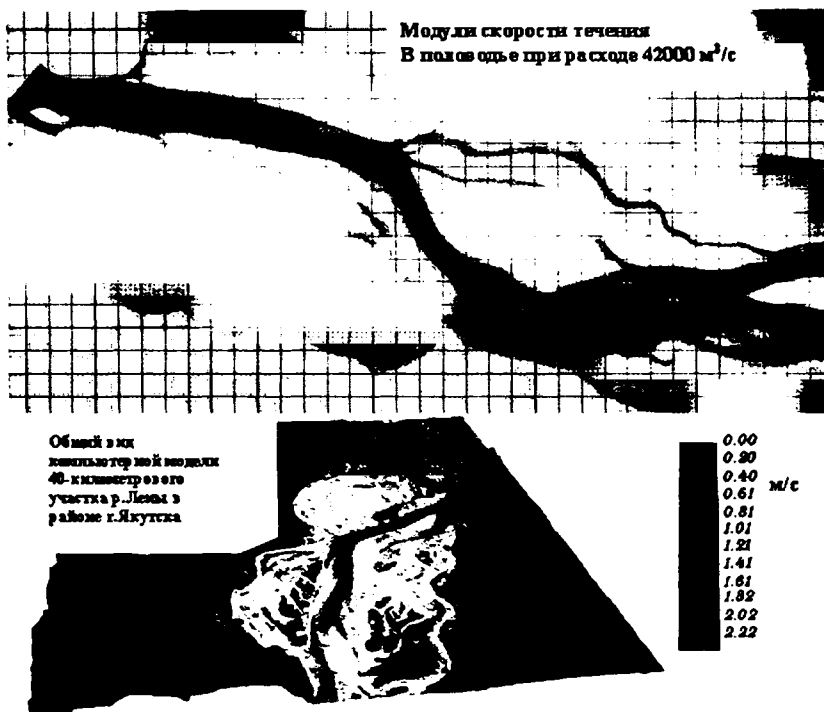


Рис. 3. Пример расчета модуля скорости течения при затопленной пойме на 40-километровом участке р. Лены.

Рассмотренный участок Лены в районе г. Якутска является типичным участком, где пойма регулирует «чрезмерно высокий» сток воды. При расходе 42000 м³/с пойма (на всем участке) аккумулирует 488 млн. м³, при этом в русловой части реки объем водной массы составляет 740 млн. м³. Смена всей водной массы на пойме происходит за 26 ч, в русле – менее чем за 6 ч. Таким образом, обмен воды на пойме происходит в 4-5 раз медленнее, чем в русле. Если учесть, что объем воды в высокое половодье, аккумулированный поймой составляет 2/3 от руслового, то оказывается, что регулирующая роль поймы заключается в аккумуляции и отдаче только 13-17% объема водной массы. При повышении расхода воды это соотношение возрастает и, наоборот, при малых расходах половодья регулирующая роль поймы может уменьшиться до незначительной величины.

Естественно, что выполненные расчеты носят региональный характер и на других реках регулирующая роль поймы может быть иной, особенно на низменных территориях, где ширина поймы превосходит ширину русла в десятки и сотни раз. Однако в целом русловая сеть является главным коллектором стока воды даже в половодье. Например, исследования и расчеты, проведенные в среднем течении Колымы в районе пос. Зырянка, где ширина поймы превосходит ширину русла в десятки раз, показали, что пойма периодически (раз в несколько лет) полностью затопливается, а средний уровень воды на пойме часто превосходит величину 2-3 м. Однако и здесь наиболее высокие скорости течения наблюдаются в пойменных протоках и ложбинах, в то время как на самой поверхности поймы они снижаются до чрезвычайно малых значений. В протоках скорости течения составляют примерно 15% от русловых величин, а на пойме менее 5%. Поэтому даже в этих условиях сток воды через пойму существенно меньше объемов воды, перемещающихся по руслу.

На целом ряде участков крупных рек Якутии, таких как Лена, Алдан и Вилюй, в долинном комплексе часто встречаются поверхности, которые по морфологическим признакам нельзя отнести к пойме. По своим основным критериям, высоте над рекой и ландшафту поверхности, их можно отнести к первой надпойменной террасе. В период открытого русла даже самые высокие значения расходов воды в реке не приводят к затоплению этой ступени поверхности долины. Однако при подпорах воды от заторов льда они изредка затопливаются. Картина распространения течения при полном затоплении днища долины исследовалась на средней Лене при моделировании катастрофического ледового затора 2001 г. Действительно, в период максимального подъема уровня от сформировавшегося в районе устья р. Кантайки, а затем у о-вов Нюйских заторов льда высота горизонта волной поверхности превысила бытовые (беззаторные) уровни более чем на 8 м. Это привело к затоплению вершин прирусловых валов высокой поймы более чем на 4 м. Вода также затопила низкую поверхность первой ступени надпойменной террасы. Разрушение затора сопровождалось мгновенным стоком колоссальной массы воды, который в первые 15 мин прорыва превосходил максимально возможный естественный сток реки в 1,7 раза. Мгновенный расход воды составил 58000 м³/с. В результате образовавшаяся волна прорыва вызвала большие разрушения берегов, ранее считавшиеся устойчивыми. Быстрое понижение уровня воды в тыловой части волны прорыва вызвала быстрый отток воды с поверхности поймы и террас, что привело к выносу плавающих предметов, в частности, домов, из тыловой части поймы с расстояния около 2-х км. При поднятии заторных уровней максимальные скорости течения наблюдались только на вершинах прирусловых валов, далее по пойме поток расплывался, и его эрозионное воздействие на поверхность снижалось. Обратный отток воды в сторону русла имел существенные скорости течения даже на поверхности поймы.

Проведенные на компьютерных моделях исследования показали, что роль поймы в нижнем бьефе Воткинской плотины существенно снизилась по сравнению с бытовыми условиями. Однако в редкие по высокой водности годы на пойме происходят эрозионно-аккумулятивные процессы, но с меньшей активностью, чем в период естественного стока. В естественных условиях поток воды на пойме имеет небольшую скорость течения, по сравнению с русловой, поэтому русла рек являются главными проводниками стока даже в период высокого половодья. На крупных реках северо-востока России, в частности на Лене и Колыме, поймы аккумулируют до 20% объема проходящего стока воды.

ЛИТЕРАТУРА

Железняков Г.В. Некоторые особенности движения потока при выходе его на пойму. В кн.: Управление поверхностными и подземными водными ресурсами и их использование. М., 1961.

Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. Л.: Гидрометеиздат, 1984.

Беликов В.В., Милитеев А.Н. Двухслойная математическая модель катастрофических паводков // Вычислительные технологии. Том .1. №3. Новосибирск: изд-во СО РАН, 1992.

Беликов В.В., Милитеев А.Н., Прудовский А.М., Родионов В.Б. Компьютерная гидравлическая модель речного бассейна – основа определения ущерба народному хозяйству от наводнений // Безопасность энергетических сооружений. Вып.11.. М.: ОАО «НИИЭС», 2003.

Беликов В.В., Зайцев А.А., Милитеев А.Н. Численное моделирование кинематики потока на участке неразмываемого русла//Водные ресурсы, №6, 2001.

Беликов В.В., Зайцев А.А., Милитеев А.Н. Математическое моделирование сложных участков русел крупных рек. Водные ресурсы. Том. 34, №6, 2002.

ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ РУСЛОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Русловые образования, находящиеся на одном уровне иерархии, как правило, характеризуются сходными формами и геометрическими размерами. Можно ожидать, что последовательность однотипных элементов в русле приводит к четко выраженным периодическим изменениям геометрических характеристик на продольном профиле русла реки.

Для оценки размеров русловых образований в качестве математической основы предлагается использовать метод, основанный на спектральном [Дженкинс, 1971, 1972] и R/S-анализе [Hurst, 1991] отметок дна продольного профиля русла реки.

Предпосылками этому являются следующие положения:

- продольный профиль русла, с одной стороны, является результатом взаимодействия между речным потоком и руслом, с другой - пространственным рядом, который можно разложить на гармоники;

- спектральный анализ позволяет рассчитать дисперсию для каждой гармоники. Если на какую-то гармонику приходится большая дисперсия, то именно на этой гармонике действует значительная внешняя или внутренняя сила. Наличие максимума дисперсии указывает на существование пространственной структуры с линейными размерами, соответствующими периоду гармоники;

- если линейные размеры не изменяются за многолетний период, то в применении к русловым процессам можно считать, что состояние факторов руслового процесса является стабильным, т.е. наблюдается баланс жидкого стока и стока наносов за этот период;

- при стабильном состоянии факторов русловых процессов в соответствии с принципом дискретности каждому структурному уровню будут соответствовать свои русловые образования характерных размеров со своими спектральными характеристиками (рис. 1);

- при абсолютном дисбалансе факторов русловых процессов будет наблюдаться все многообразие русловых образований. Спектральная характеристика продольного профиля такого русла будет близка к белому шуму (рис. 2);

- для русел в естественных условиях спектральные характеристики будут располагаться в абстрактных граничных условиях;

- изменение спектральных характеристик продольного профиля свидетельствует о направлении смещения факторов русловых процессов к стабильному состоянию или, наоборот, к дестабилизации;

- показатель Харста [Hurst, 1991] является устойчивой количественной характеристикой ряда и с его помощью можно классифицировать ряды. Предлагаемая интерпретация его значений приведена в таблице.

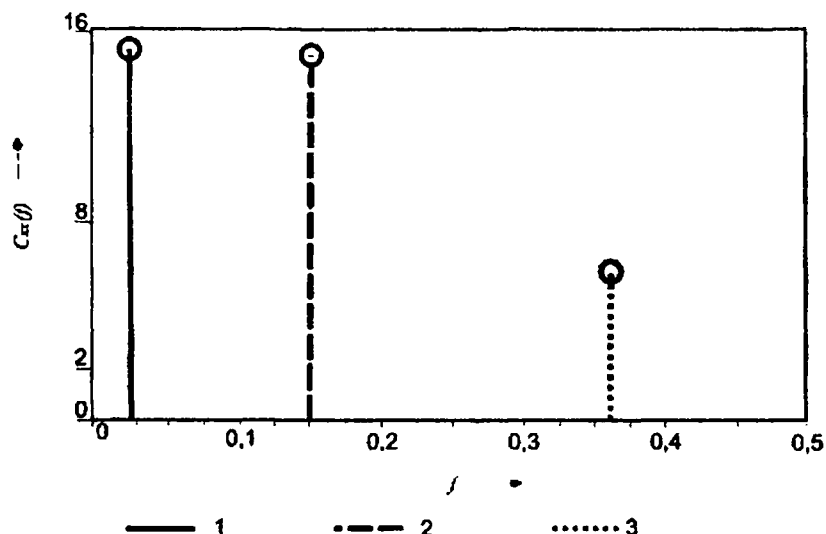


Рис.1. Вид спектральной плотности отметок дна при стабильном состоянии факторов руслового процесса: 1 – макроформы, 2 – мезоформы, 3 – микроформы.

В качестве объектов исследований выбраны реки Северная Двина, Пинега и Вычегда, находящиеся в состоянии, близком к естественному.

Для каждого морфологически однородного участка этих рек проведен расчет нормированной спектральной плотности и показателя Харста. На рис. 3, в качестве примера, приведен совмещенный график нормированной спектральной плотности для участка №1 р. Вычегды за 1977 и 1990 гг.

При совместном анализе данных расчетов и данных о физико-географических характеристиках выявлены следующие закономерности:

- наблюдаются статистически значимые регулярные русловые образования на участках рек с устойчивым руслом;

- для участков рек с каменистым руслом длина регулярных образований соответствует расстоянию между каменистыми соседними перекатами;

- отмечено уменьшение длины статистически значимых регулярных русловых образований от устья к истоку реки для всех исследуемых рек;

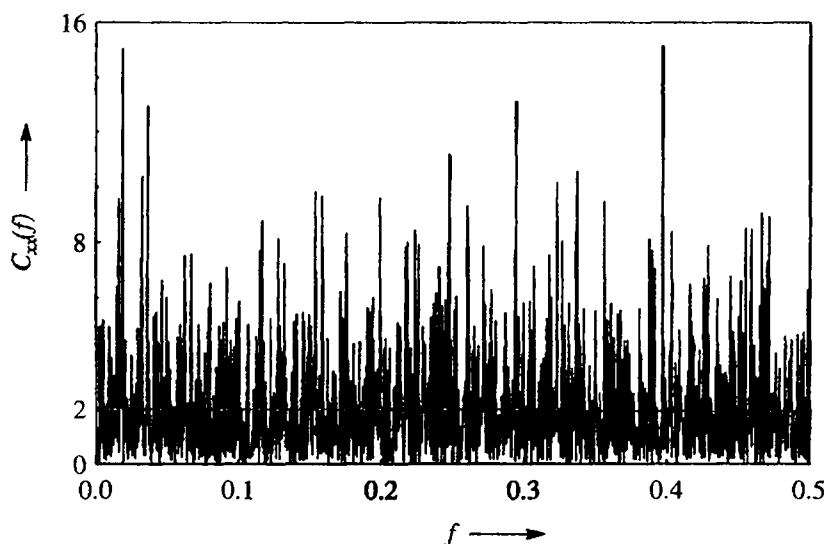


Рис. 2. Вид спектральной плотности отметок дна при нестабильном состоянии факторов руслового процесса

Интерпретация показателя Харста H

H	Процессы	
	Физические	Русловые
$<0,4$	Турбулентные процессы в среде малой вязкости.	На каждом структурном уровне наблюдается разнообразие русловых форм. Русловые процессы выведены из состояния динамического равновесия. Идут активные перестройки русла.
от 0,4 до 0,6	Формы поверхности, порождаемые процессами, связанными с теплопереносом, или диффузией. Такой показатель характерен для рельефа, целиком определяемого эрозионной системой.	Отсутствие взаимодействия русловых форм. Совокупность руслоформирующих факторов участка не оказывает влияния на соседние участки. Характерно преобладание ограничивающего фактора.
$>0,6$	Турбулентные процессы в очень вязкой среде.	Наблюдается одна доминирующая русловая форма. Динамическое равновесие факторов русловых процессов.

- отмечено удвоение длин русловых образований для участков рек Пинега и Вычегда;

- значения показателя Харста для расчетных участков находятся в диапазоне от 0,62 до 0,99, что свидетельствует о динамическом равновесии факторов русловых процессов.

Для мониторинга изменчивости морфологического строения участка речного русла, находящегося под активным антропогенным воздействием, выбран участок Верхней Оки.

Основными факторами хозяйственной деятельности, оказавшими влияние на морфологию русла и гидрологический режим рассматриваемого участка реки, является добыча нерудных строительных материалов (НСМ) в русле, дноуглубительные работы на перекатах для обеспечения судоходных глубин и водопотребление. Систематические работы по добыче НСМ начаты более 50 лет назад. Общее число участков, где производилась

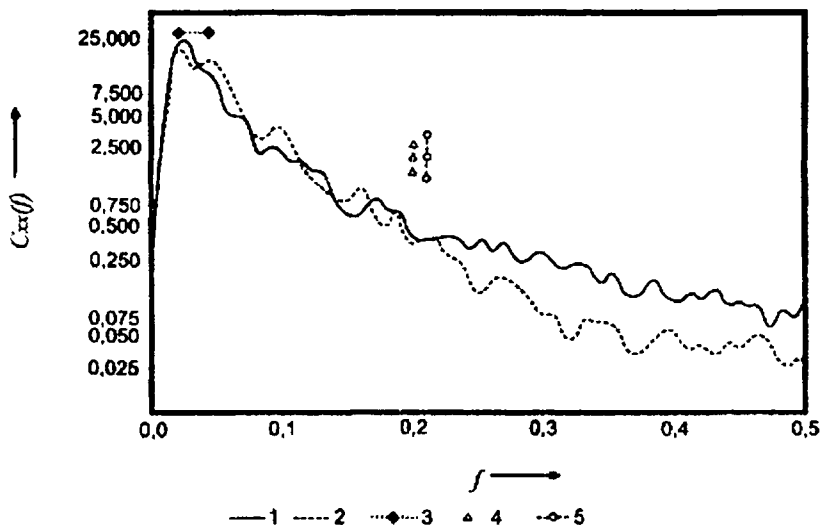


Рис. 3. Нормированная спектральная плотность отметок дна для расчетного участка №1 р. Вычегды: 1 – 1977, 2 – 1990, 3 – окно Гьюки ($M = 94$), 4 – 95%, 5 – 99%

добыча НСМ, со временем достигло 20, а общая их протяженность составила не менее 30 км.

По имеющимся сведениям, годовые объемы добычи НСМ на рассматриваемом участке реки составляют преимущественно 1 – 2 млн. m^3 , в 1980-е годы они достигали 3 – 4 млн 3 . В начале 90-х гг. объемы добычи снизились, а с 1994 г. добыча НСМ на участке практически прекращена.

Для расчета нормированной спектральной оценки использованы отметки дна по фарватеру для участка верхнего течения р. Оки с 850 по 975 км от устья реки по лоцманским картам за 1879, 1909, 1980 и 1990 гг. Расчетные участки выделены исходя из типов антропогенного воздействия (пассивного и активного). Схема участков приведена на рис. 4.



Рис. 4. Схема размещения русловых карьеров в верхнем течении р. Оки: 1 – русловые карьеры; 2 – естественные участки русла

В качестве спектрограммы стабильного состояния факторов руслового процесса выбрана спектрограмма продольного профиля русла р. Оки построенного по данным лоцманских карт 1879 и 1909 гг. На рис. 5 приведен пример спектрограммы карьерного участка № 3.

Анализ результатов расчета и сравнение графиков нормированных спектральных плотностей со спектрограммой стабильного состояния факторов русловых процессов позволили сделать следующие выводы:

- в процессе разработки карьеров нарушается стабильное состояние факторов русловых процессов, что характеризуется появлением множества пиков на спектрограмме;

- при снижении антропогенной нагрузки факторы русловых процессов стремятся к стабильному состоянию, что отмечается постепенной трансформацией спектрограммы в сторону стабильного состояния;

- на участках с пассивным антропогенным воздействием на формирование русловых образований сказывается нарушение баланса наносов при разработке карьеров на соседних участках. На спектрограмме отмечается увеличением доли регулярных образований с периодом, меньше доминирующего.

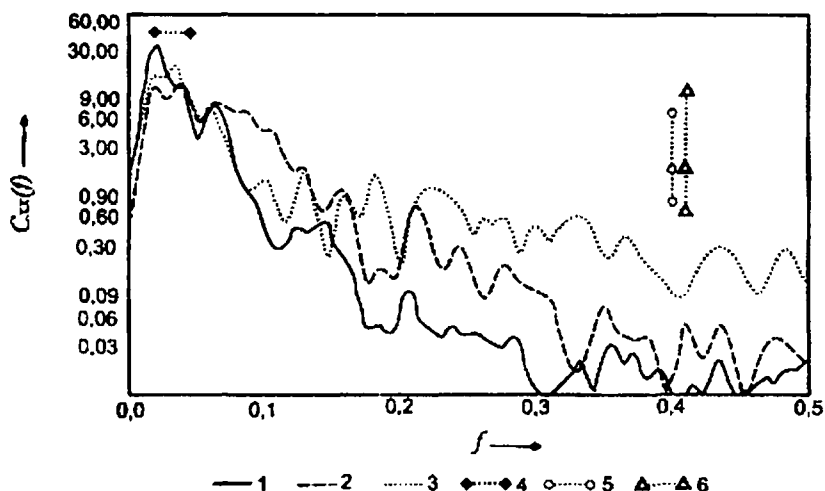


Рис. 5 Нормированная спектральная плотность для расчетного участка № 3 р. Оки
1—1879; 2—1980; 3—1990; 4—около Тьюки ($M=79$); 5—95%; 6—99%.

ЛИТЕРАТУРА

Дженкинс Г., Ватс Д. Спектральный анализ и его приложения. Том 1. М.: Мир, 1971.

Дженкинс Г., Ватс Д. Спектральный анализ и его приложения. Том 2. М.: Мир, 1972.

Hurst H.E. Long-term Storage of Reservoirs.// Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. 88, 1991.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ПАРАМЕТРЫ ПРИЗМ ПОДПОРА ВОДЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАТОРАМИ ЛЬДА

В настоящее время при строительном проектировании из всех характеристик заторов рассчитываются и прогнозируются в основном максимальные заторные уровни воды в створе гидрологического поста. Вместе с тем, часто важно знать не только заторный максимум уровня в одном створе заторного участка, но и весь продольный профиль водной поверхности выше очага затора.

Основной целью настоящей работы являлось исследование условий формирования продольного профиля водной поверхности в зоне подпора воды, обусловленного затором, выявление факторов и параметров, определяющих этот профиль, установление расчетных зависимостей.

Существующие расчетные формулы

В ряде методических документов [Рекомендации..., 1977, Руководство по режиму..., 1985] для оценки превышения максимального заторного уровня воды над уровнем, соответствующим в условиях открытого русла расходу воды в период заторообразования ΔH_z , рекомендуется пользоваться отношением гидравлических характеристик открытого русла и при наличии в нем льда, т.е.:

$$\Delta H_z = h_{Q_3} \{ [(n_r/n_p)^{3/2} + I]^{2/5} (I/I_n)^{3/10} (B/B_n)^{3/5} - B/B_n \} + 0,9 h_n, \quad (1)$$

где h_{Q_3} — средняя глубина при расходе Q_3 , n_r и n_p — коэффициенты шероховатости льда и русла, I и I_n — уклоны водной поверхности при отсутствии и наличии льда, B и B_n — ширина реки при отсутствии и наличии льда, h_n — толщина льда.

Задача определения таких гидравлических характеристик, как h_n , n_p и I_n довольно сложная. В какой-то мере их можно оценить на основании теоретического анализа с привлечением данных специальных наблюдений на расчетных участках рек. К сожалению, такие наблюдения производятся крайне редко из-за трудности зимних гидрометрических работ.

Сопоставление гидравлических характеристик подледного и открытого водных потоков позволили Р.В.Донченко [1986] сделать вывод о том, что значения этих характеристик для фиксированного расхода воды связаны между собой. Скорость течения воды, глубина потока и уклон водной поверхности при свободном ото льда русле являются начальными условиями развития процесса формирования затора, определяя в конечном итоге мощность скопления льда, степень стеснения им водного потока и гидравличе-

ское сопротивление ледяной нижней поверхности. Это обстоятельство позволило Р.В.Донченко найти эмпирическую зависимость заторных подъемов уровня воды с уклоном и глубиной реки при расходе Q_3 :

$$\Delta H_3 = h_{Q_3} (\mu I^{0.3} - 1), \quad (2)$$

где μ — коэффициент, зависящий от приращения ширины реки в пределах заторного подъема; I — уклон при свободном ото льда русле.

М.А.Жуковой [1978] изложенное положение существенно развито и доведено до метода расчета максимальных заторных уровней воды 1%-й обеспеченности. При этом глубина h_{Q_3} заменена подъемом уровня над меженью (A_{Q_3}), а уклон водной поверхности, тесно связанным с ним числом Фруда (Fr). Итоговое уравнение для определения заторного подъема имеет вид:

$$\Delta H_3 = A_{Q_3} (0,30 + 0,21 Fr^{0.5} F^{0.17} + 0,52 \lg F / 8,5 Fr^{1.16}), \quad (3)$$

где F — площадь водосбора.

Главным недостатком формулы Жуковой является то, что она не учитывают изменение ширины русла в пределах заторного подъема. При наличии широкой поймы расчет по ней связан с большими погрешностями. В методе Р.В. Донченко нет рекомендаций по определению главного аргумента расчетной зависимости — расхода Q_3 .

Наивысшие уровни воды в пределах зон подпора согласно своду правил [Донченко и др., 1982] переносятся по кривой подпора, построенной с помощью уравнения неравномерного водного потока

$$\Delta z = V^2 \Delta x / C_{np}^2 R + 1,05 (V_n^2 - V_k^2) / 2g, \quad (4)$$

где Δz — падение уровня на участке (м), V , C_{np} и R — соответственно средняя для участка скорость течения воды (м/с), коэффициент Шези ($m^{0.5}/c$) и гидравлический радиус (м), Δx — длина участка (м), g — ускорение свободного падения (m^2/c), V_n и V_k — средняя в поперечном сечении скорость течения воды в начале и конце участка.

Уравнение (4) решается методом последовательного приближения или другими численными методами для коротких, морфометрически однородных участков реки. При переносе уровней воды вверх по течению второй член уравнения пишется со знаком минус. Подобный расчет достаточно трудоемок.

Согласно работе В.В.Лебедева [1959] кривая подпора строится путем соединения плавной вогнутой линией точек продольного профиля, соответствующих расчетному наивысшему бытовому уровню воды в месте выклинивания подпора (H_{Q_3}) и в створе наибольшего подпора у его источника. Дальность распространения подпора L (км) при этом приближенно определяется по формуле:

$$L = \alpha (h_{Q_3} + \Delta H_3) / I, \quad (5)$$

где I и h_{Q_3} — средние уклон водной поверхности (‰) и глубина на расчетном участке реки (м) при отсутствии подпора и расходе воды Q_3 , α —

коэффициент, зависящий от отношения $(\Delta H_3/h_{Q3})$ и определяемый по специальной таблице.

Р.А. Нежиховский [1988] приводит еще более простую формулу для расчета длины зоны подпора

$$L = 1,5 \Delta H_3 / I, \quad (6)$$

где ΔH_3 м, а I – уклон, ‰.

Оценка параметров расчетных формул по данным каталога

Все приведенные выше расчетные формулы, как было отмечено, несовершенны по тем или иным причинам и зачастую слабо обоснованы данными материалов наблюдений за заторами. Их необходимо уточнять. Для этого могут быть использованы материалы Каталога заторных и заторных участков рек СССР [1976].

Из этого каталога были выписаны все пункты, в описании которых приводились данные по уклону водной поверхности I и по длине зоны подпора L , вызванной заторными явлениями, а также были выписаны значения высших заторных уровней H_3 , A_3 , высших незаторных уровней $H_{Q_{\max}}$, $A_{Q_{\max}}$, наибольшие заторные подъемы ΔH_3 , ширина поймы B_n , ширина русла при уровне выхода воды на пойму B_p и период наблюдений n .

По этим данным вычислены значения среднего меженного уровня

$$H_{\text{меж}} = H_3 - A_3, \quad (7)$$

значения превышения уровня воды над меженю в условиях свободного ото льда русла при затороформирующем расходе воды

$$AQ_3 = H_3 - \Delta H_3 - H_{\text{меж}}, \quad (8)$$

отношения $(B_p + B_n)/B_p$, и коэффициенты μ и β входящие в формулы Р.В. Донченко и Р.А. Нежиховского:

$$\mu = \frac{A_3}{AQ_3 I^{0.3}}, \quad (9)$$

$$\beta = \frac{LI}{\Delta H_3}. \quad (10)$$

Построены зависимости $\beta = f((B_p + B_n)/B_p)$ и $\mu = f((B_p + B_n)/B_p)$. По данным графикам найдено среднее расчетное значение β и уравнение, для расчета значений коэффициента μ .

Установлено, что коэффициент μ изменяется от 11,6 до 134,0. Среднее его значение равно 27,0. Р.В. Донченко предполагала, что коэффициент μ может зависеть от ширины поймы и русла реки, но исследований, подтверждающих это, произведено не было. В ходе

настоящих исследований удалось установить, что коэффициент μ действительно зависит от отношения $(B_n + B_p)/B_p$.

Однозначной зависимости коэффициента β (параметра из формулы Р.А.Нежиховского) от отношения $(B_n + B_p)/B_p$ выявить не удалось. Однако установлено, что он изменяется в пределах от 0 до 5,12, и имеет среднее значение равное 0,88.

С учетом новых значений μ и β произведен пересчет значений наивысших заторных уровней над меженью A_3 по формуле Р.В. Донченко:

$$A_3 = \mu A_Q /^{0.3}, \quad (11)$$

и длины зоны подпора L по формуле Р.А. Нежиховского (6), с введением в формулу коэффициента β :

$$L = \beta \Delta H_z / I. \quad (12)$$

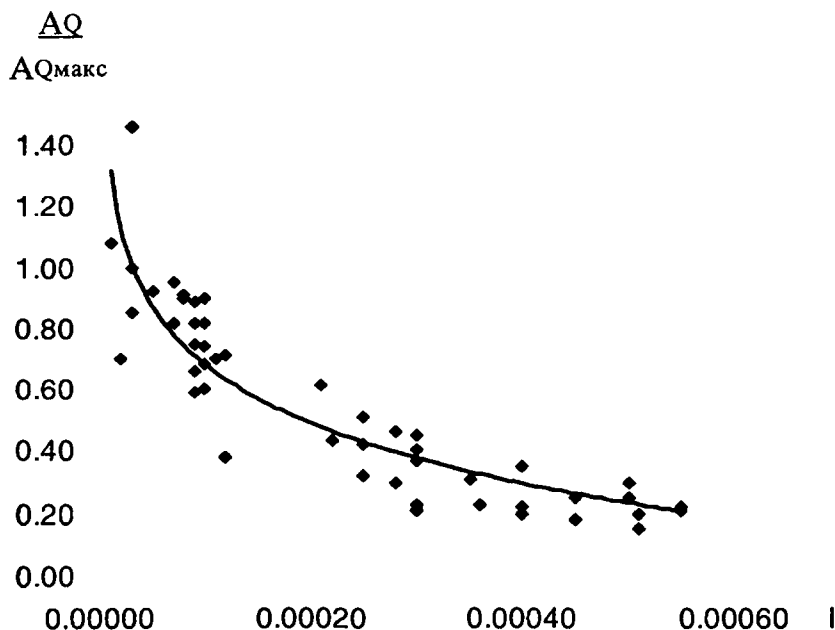


Рис.1. Связь отношения расхода воды при наивысшем заторном уровне и среднего многолетнего на пике половодья с уклоном водной поверхности при свободном ото льда русле.

Построены графики средних ошибок вычисления длины зоны подпора δL и наивысших заторных уровней над меженью δA_3 . Как выяснилось, для 20% пунктов средняя ошибка вычислений длины зоны подпо-

ра δL не превышает 20%. Для 40% пунктов средняя ошибка вычислений наивысших подъемов уровней над меженью δA_3 не превышает 20%, что дает возможность использовать значения вычисленных коэффициентов μ и β при расчете наивысших подъемов уровней и участков затоплений.

Поскольку количество пунктов небольшое, необходимы дальнейшие исследования в этом направлении с использованием картографической информации, лоций и прочего материала.

Наибольшие ошибки в определении основной расчетной характеристики A_3 , объясняются в основном следующими причинами: 1) значения уклонов водной поверхности определены приближенно по данным единичных измерений; 2) принятой схемой расчета не предусмотрен учет местных особенностей, например аномальных толщин льда перед вскрытием, мощных осенних зажоров и других факторов; а главное – учет места формирования затора льда относительно пункта наблюдений.

Также в ходе работы установлена зависимость $AQ/AQ_{\max} = f(I)$ (рис.1) [Бузин, 2000].

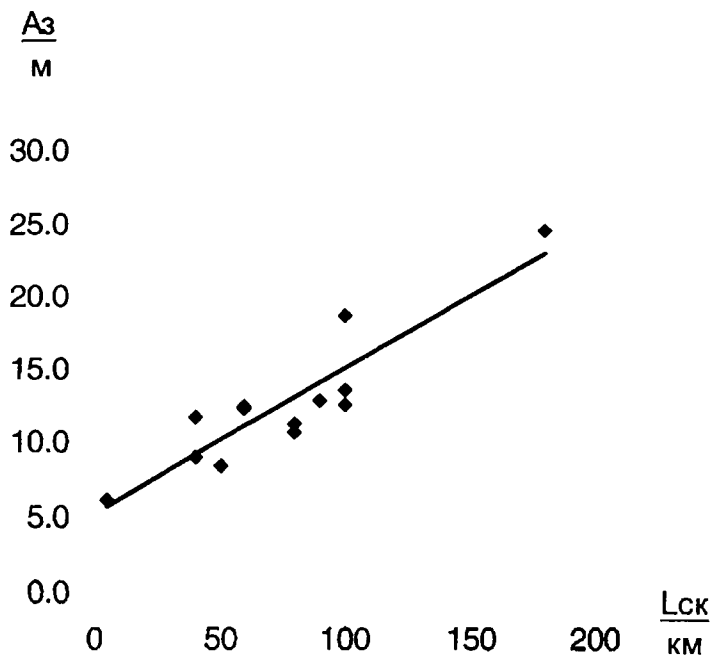


Рис.2. Связь наибольшего заторного подъемного уровня воды над меженью (A_3) с длиной затора (длиной скопления льда $L_{ск}$).

На следующем этапе исследования произведен анализ данных по реке Лене. По данным о наивысших заторных подъемах уровней воды над меженью A_3 и длинах заторов $L_{ск}$ на р.Лена построен график зависимости $A_3 = f(L_{ск})$ (рис.2), который можно использовать для прогноза заторов по данным ледовой разведки. По интенсивности увеличения длины зоны скоплений льда $L_{ск}$ и длины зоны ледохода прогнозируется подъем уровня над меженью A_3 .

Заключительным этапом исследования стала работа с Каталогом отметок наивысших уровней воды рек и озер СССР [Каталог отметок..., 1970] из которого выписаны значения наивысших уровней воды разной обеспеченности (1%, 2%, 4%, 10%) по 42 пунктам. Построен график зависимости величин высших заторных уровней воды H_3 при $P=1\%$ от H_3 при других обеспеченностях [$H_3P=1\%=f(H_3P=2\%)$, $H_3P=1\%=f(H_3P=4\%)$, $H_3P=1\%=f(H_3P=10\%)$] (рис.3). На основании этого графика можно переходить от уровней воды (H) разной обеспеченности к уровням воды, обеспеченностью $P=1\%$ для любого поста неизученных в гидрологическом отношении участков рек. Кроме того, эти зависимости могут быть использованы для прогноза максимального заторного уровня воды A_3 .

$H_3 1\%$

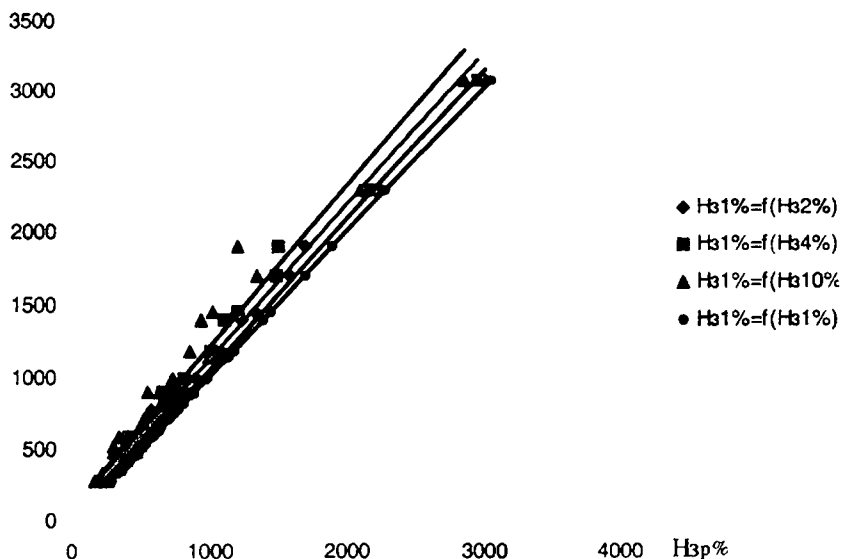


Рис.3. График зависимости высшего заторного уровня 1%-ной обеспеченности $H_3P=1\%$ от уровней другой обеспеченности $H_3P\%$

ЛИТЕРАТУРА

Бужин В.А. О наводнениях на реках, вызванных заторами льда. // Водные ресурсы. Том 27. № 5, 2000.

Донченко Р.В. Методы расчета зажорных и заторных уровней воды на зарегулированных участках. // Труды ГГИ. Вып.323, 2000, с.3-18.

Донченко Р.В, Щеголева Е.В, Коробко А.С. Закономерности формирования и распределения заторов льда на реках СССР. // Труды ГГИ, 1982. – Вып, 287.

Жукова М.А. Заторы льда на реках бассейна Северного Ледовитого океана и расчет наивысших заторных уровней воды. // Труды ГГИ, Вып, 248, 2000.

Каталог заторных и зажорных участков рек СССР. Том 1. Европейская часть СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1976.

Каталог отметок наивысших уровней воды рек и озер СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970.

Лебедев В.В. Гидрология и гидравлика в мостовом и дорожном строительстве. Л.: Гидрометеиздат, 1959.

Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеиздат, 1988.

Рекомендации по расчету зажорных явлений в нижних бьефах ГЭС. Л.: Гидрометеиздат, 1977.

Руководство по режиму эксплуатации и определению пропускной способности каналов в зимний период ГЭС. М, 1985.

РАЗМЫВ БЕРЕГОВ И АККУМУЛЯЦИЯ НАИЛКА НА ПОЙМАХ РЕК УДМУРТИИ

Согласно данным А.П.Дедкова, В.И. Можжерина и др. [1977], в условиях гумидного умеренного климатического морфогенеза преобладающим процессом рельефообразования является русловая эрозия постоянных водотоков. Антропогенное преобразование ландшафта (главным образом земледелие) коренным образом изменяет данное соотношение в сторону увеличения бассейновой составляющей стока наносов. Так, для речных водосборов, расположенных в таежной зоне, при слабой степени изменения бассейна (залесенность 67-85%) доля бассейновой эрозии составляет около 40%. В тех же условиях, но в значительно измененных бассейнах (залесенность 40-52%) доля последней составляет уже 59% [Дедков, Можжерин, 1984].

Наиболее распространенной формой речного русла в пределах Удмуртии являются излучины. Доля их в среднем по республике составляет 77% [Петухова, 2003, Рысин, Петухова, 2004]. По генезису, внешнему виду они очень разнообразны. В соответствии с морфодинамической классификацией МГУ [Чалов, Алабян и др., 1998], все реки характеризуются преобладанием широкопойменных русел. Для верхних и нижних участков рек характерны относительно прямолинейные неразветвленные русла, составляющие от 16% (бассейн р. Сива) до 28% (бассейн р. Иж) от длины реки.

Наиболее распространенными на исследуемой территории являются сегментные излучины с продольным перемещением: доля их в среднем по республике составляет 62%. Значительное их количество отражает различные стадии развития излучин и является косвенным свидетельством активного процесса перестроения извилистого русла в целом. На отдельных реках можно встретить все стадии развития сегментных излучин: от пологих до крутых.

Пологие излучины встречаются довольно часто: доля их составляет в среднем 33% среди всех типов излучин и около 53% среди всех сегментных. Далее по распространенности следуют сегментные развитые (соответственно 24,7% и 31%) и сегментные крутые (13% и 16% соответственно). На дальнейших этапах развития излучин при различных условиях происходит либо спрямление русла с образованием прорванных излучин, либо трансформация их в петлеобразные с продольно-поперечным перемещением. Доля петлеобразных и прорванных излучин составляет 15% от всей длины рек республики. На средних реках доля их выше – 23-27%, на малых – 4% и менее.

Традиционным методом исследования меандрирующего русла является построение эмпирических зависимостей между параметрами излучин и

различными показателями, характеризующими водность реки (руслоформирующие, среднегодовые, руслонаполняющие расходы воды, расходы воды в половодье), площадь водосбора, уклоны дна долины и водной поверхности [Маккавеев, 1955 и 1971, Кондратьев, Ляпин и др., 1959, Маккавеев, Чалов, 1986]. В некоторых случаях в качестве показателя водности используется длина реки, а точнее расстояние от истока. Он зависит от площади водосбора, который в свою очередь связан с расходами воды [Чалов и др., 2004]. Исследования, проведенные О.М. Пахомовой [2002] на ряде рек России, позволили выявить различия в характере связи порядковой структуры речной сети с характерными значениями параметров свободных излучин.

На реках Удмуртии были выделены относительно однородные по водности участки, границами которых служили места впадения наиболее крупных притоков. Для каждого участка определялись характерные значения параметров излучин (шаг L , радиус кривизны r , стрела прогиба h , длина l , а также относительные - l/L , r/h , характеризующие степень развитости и форму излучины) и показатели водности. В связи с недостаточной освещенностью исследуемых рек УР гидрологическими данными (имеется лишь 9 гидрологических постов) для выявления эмпирических зависимостей использовались в основном показатели: длина реки от истока, площадь водосбора и порядок реки.

Н.А. Ржаницын [1985] предложил использовать связь гидролого-морфологических характеристик с порядком рек, зависящим непосредственно от структуры речной сети. Порядок реки – индикационная характеристика водотока, дающая осредненное представление о размере реки, условный индекс речного потока, обладающего определенными физическими характеристиками. Существует несколько схем определения порядков водотоков – Р. Хортон, А.С. Стралера -В.П. Философова, Н.А. Ржаницына, А. Шайдеггера и др. Для рек территории Удмуртии расчет порядков выполнялся по схеме Шайдеггера:

$$N = \log_2(P) + 1,$$

где P – число притоков первого порядка (притоком 1-го порядка считается поток длиной менее 10 км).

Рассчитанные порядки рек соотносились с осредненными по однородным участкам рек морфологическими характеристиками и с параметрами излучин. Выяснилось, что основные параметры свободных излучин – r , h , l , L – достаточно тесно связаны с порядком реки и друг с другом: их значения возрастают с увеличением порядка реки, что соответствует их связи с показателями водности рек, возрастающими в этом же направлении.

Закономерности изменений параметров русла от порядка рек можно также использовать как критерий перехода от малых рек к средним [11]. Для территории Удмуртии предлагается относить реки 1-6 порядка к очень малым, 6-9 порядка к малым и реки крупнее 9-го порядка – к средним и крупным. Значительно отличаются у рек разного порядка и все остальные параметры - длина, ширина, уклон и т.д. (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики рек разного размера

	Очень малые реки	Малые реки	Средние и крупные реки
Порядок реки	до 6	6-9	Выше 9
Расход, м ³ /сек	Менее 2,0	2,0-20,0	Более 20,0
Длина, км	Менее 25	25-100	Более 100
Ширина, м	5-10	25-100	Более 100
Радиус кривизны, км	0,1-0,15	0,20-0,25	Более 0,7
Уклон, м/км	2-2,5	0,6-1,0	0,2 и менее

Сведения о порядках рек, зависящие от структуры речной сети, применяются и при оценке интенсивности русловых переформирований. Реки Удмуртии, протекая по равнинной территории, характеризуются активным развитием процессов меандрирования, переформирования своих пойменных берегов.

По данным стационарных наблюдений наибольшие скорости размыва пойменных берегов присущи рекам с порядком выше 9-го (III группа). Максимальные значения размыва, наблюдаемые здесь, достигают 5-10 м в год и более; среднегодовые скорости размыва колеблются в интервале 1,2-3,0 м/год. Так, на р.Вятке на ключевом участке «Крымская Слудка» среднегодовые скорости размыва превышают 3 м/год, а максимальные из зафиксированных значений составляют 15-25 м/год. Интенсивно проявляется боковая эрозия на р. Чепце: на ключевых участках «Каменное Заделье», «Дизьино» и «Яр» среднегодовые скорости составляют 1,1-1,8 м/год (табл.2).

Для малых рек II группы (6-9 порядок) средние скорости отступления берега составляют 0,4-0,7 м/год, а максимальные - 2-3 м/год. В этой группе выделяются такие реки, как Кильмезь, Иж, Вала, Ува, Нылга, на которых наиболее ярко проявляются горизонтальные русловые деформации.

Для самых малых рек (I группа, порядок ниже 6-го) значения средних скоростей размыва меньше – 0,3 м/год, хотя в отдельных точках зафиксированы смещения берегов за год на 1 метр и более. Так на р. Агрызке (бассейн р. Ижа) максимальный размыв в 2003 г. составил 8,1 м, а на р. Бобинке – 2,6 м.

Аналогичные результаты получены и при сопоставлении крупномасштабных разновременных аэрофотоснимков и фотопланов.

Различия в активности русловых деформаций наблюдаются не только на водотоках разной величины, находящихся в разных природных условиях, но и в пределах одной реки. По длине реки (от истока к устью) в связи с увеличением водоносности скорости размывов берегов на излучинах изменяются.

Значения среднегодовых ($C_{ср.}$) и среднемаксимальных ($C_{макс.}$) скоростей размыва берегов растут с увеличением порядка реки (табл. 3, рис. 1, 2). Коэффициенты корреляции данных зависимостей, составляют 0,614 и 0,610 соответственно и описываются экспоненциальными формулами:

$$C_{ср.} = 0,019 \exp 0,35N,$$

и

$$C_{макс.} = 0,022 \exp 0,42N$$

Таблица 2

Характеристики горизонтальных русловых деформаций на реках Удмуртии

Река	Ключевой уча- сток	2000		2001		2002		2003		2004		2005	
		Ср.	Макс	Ср.	Макс	Ср.	Макс	Ср.	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс
Лоза,	ст. Кушья	-	-	0,15	0,35	0,26	0,50	0,12	0,3	0,18	0,30	0,2	1,0
Лоза	д. Сундур	0	0	0,23	0,88	0,1	0,35	0,63	2,55	0,22	0,70	0,23	0,95
Лоза	ст. Лоза	0,14	0,38	0,05	0,14	0,38	1,55	0,36	1,05	0,1	0,2	0,10	0,22
Ита	п. Зура	-	-	0,27	0,63	0,41	1,60	0,23	0,8	0,17	0,35	0,24	0,60
Чепца	с. Дебесы	0,48	0,85	0,44	1,95	0,28	0,80	0,52	1,9	0,15	0,35	0,21	0,50
Лып	д. Сосновый Бор	0,43	0,80	0,19	0,37	0,24	0,50	0,24	0,9	0,19	0,6	0,11	0,15
Пызел	д. Бани	-	-	0,86	2,45	0,32	0,87	0,68	1,52	0,18	0,8	1,25	3,28
Чепца	д. Камен. Заделье	-	-	1,80	3,67	-	-	1,2	1,8	0	0	1,06	1,43
Чепца	д. Кожило	-	-	1,33	1,90	1,25	2,15	0,31	1,05	0,21	0,3	0,48	1,61
Зарыж	д. Кельдыково	-	-	0,42	0,82	0,32	0,68	0,29	0,95	0,1	0,15	0,21	0,40
Сепыч	г. Глазов	-	-	0,82	1,35	-	-	0,49	1,3	0,12	0,3	0	0
Убыть	д. Чура	-	-	0,34	0,40	0,13	0,15	0	0	0	0	0,10	0,30
Убыть	д. Палагай	-	-	0,23	0,35	0,21	0,35	0,16	0,5	0,1	0,15	0,27	0,80
Чепца	д. Яр	-	-	0,43	1,60	0,44	1,35	1,44	2,7	0,26	0,4	1,81	7,10
Чепца	д. Дизмино	-	-	1,27	2,65	1,65	2,36	1,05	2,55	0,25	0,7	1,30	4,70
Лекма	д. Нижний Укан	-	-	0,16	0,40	0,07	0,20	0	0	0,14	0,25	0,17	0,30

д. Юр	-	-	0,17	0,45	0,10	0,30	0,05	0,1	0,06	0,1	0	0
д. Шамардан	-	-	0,10	0,20	0,05	0,10	0,08	0,15	0,1	0,2	0	0
д. Починки	-	-	0,28	0,60	0,10	0,30	0,14	0,5	0,11	0,25	0,11	0,25
д. Головинин	-	-	2,24	5,25	1,43	3,95	0,56	2,6	0,20	0,7	0,43	1,32
д. Чибирь-Зюнья	-	-	0,29	0,45	0,23	0,80	0,13	0,3	0,11	0,25	0,20	0,51
д. Ува-Тукля	-	-	0,45	1,38	0,51	2,05	0,37	0,85	0,17	0,5	0,91	2,08
с. Нылга	-	-	0,57	1,95	0,63	1,80	0,45	1,15	0,14	0,35	0,4	0,65
с. Макарово	0,52	1,45	0,98	2,60	0,52	1,94	0,38	0,8	0,21	0,75	0,10	0,15
д. Шонер	0,10	0,24	0,34	0,34	0,10	0,20	0,16	0,21	0,33	0,5	0,05	0,23
д. Титово	0,51	2,34	0,44	1,49	0,56	2,35	0,15	0,55	0,15	0,45	0,10	0,30
с. Гавриловка	0,27	0,55	0,08	0,25	0,85	0,85	0,23	0,45	0,2	0,2	0,30	0,51
с. Гольяны	0,38	0,65	0,20	0,29	0,25	0,70	0,3	0,8	0,32	0,6	0,40	1,00
д. Кабаниха	0,44	0,68	0,05	0,29	0,12	0,35	0,28	0,70	0,10	0,20	0	0
ст. Позимь	-	-	0,10	0,10	0,10	0,35	0,27	0,60	0,14	0,50	0,10	0,20
д. Большая	0,45	1,05	0,27	0,54	0,28	1,25	0,24	0,45	0,16	0,55	0,10	0,20
с. Юськи	0,33	0,70	0,46	0,85	0,27	0,40	0,13	0,20	0,10	0,20	0,20	0,30
д. Баграш-Бигра	-	-	-	-	0,92	2,75	3,15	8,1	0	0	0,35	0,70
п. Постольский	-	-	-	-	0,45	2,0	0,18	0,35	0,13	0,45	0,35	1,20
д. Абдес-Урдес	-	-	-	-	0,09	0,20	0,61	2,60	0,10	0,15	0,40	0,95

-	-	0,48	0,04	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-
0,35	1,0	0,22	0,45	0,22	0,30	0,13	0,20	0,11	0,20	0,25	0,80	0,80
-	-	0,63	1,0	0,18	0,80	0,72	3,20	0,10	0,15	0,32	1,26	1,26
0,22	0,24	0,12	0,20	0,14	0,23	0,46	1,70	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15
-	-	0,15	0,30	0,11	0,35	0,20	0,50	0,27	1,20	0,27	0,74	0,74
0,36	0,50	0,19	0,52	0,21	0,85	0,15	0,25	0,17	0,50	0,10	0,27	0,27
0,20	0,55	0,25	0,75	0,40	1,05	0,15	0,40	0,19	0,85	0,35	0,80	0,80
0,52	1,55	0,45	0,97	0,18	0,43	0,15	0,30	0,10	0,20	0,30	0,52	0,52
-	-	0,15	0,30	0,13	0,30	0,13	0,40	0,12	0,20	0,15	0,40	0,40
3,25	13,35	3,97	10,67	4,53	14,25	3,0	8,90	1,23	3,05	5,90	25,0	25,0
-	-	-	-	-	-	0,16	0,55	0,10	1,20	0,10	0,30	0,30
-	-	-	-	-	-	0,65	1,00	0	0	1,0	3,10	3,10
0,48	-	0,54	0,50	0,47	0,17	-	-	-	-	0,46	-	-

Таблица 3

Значения скоростей бокового размыва для рек разного порядка

Группы рек	Среднегодовая скорость размыва, м/год	Среднемаксимальная скорость размыва, м/год	Относительная скорость размыва, %
Очень малые	Менее 0,30	0,2-0,8	3-10
Малые	0,31-0,60	0,4-1,5	1,5-3
Средние и крупные	Более 0,61	Более 1,5	1-1,5

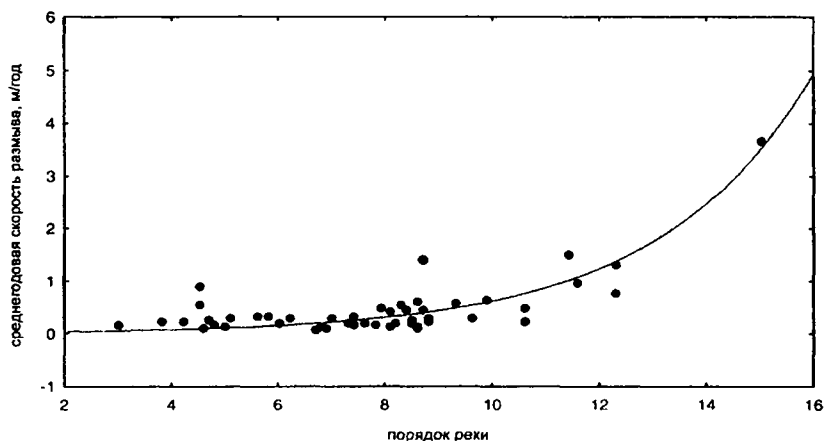


Рис. 1. Зависимость среднегодовой скорости размыва от порядка реки

Абсолютное значение скоростей отступления берега (например, 5 м/год) для малых и больших рек имеет разное относительное значение: для малых рек это огромная величина, для больших – ничтожно малая. Поэтому вводится относительная характеристика, позволяющая исключить влияние размера реки на оценку значимости величины скорости размыва ее берегов – относительная скорость – U . Она представляет собой отношение расстояния, на которое за год отступает берег реки (B_d , м) к средней ширине меженного русла (B , м) на данном участке, т.е. $U=B_d/B$, выраженное в %. Относительная скорость также имеет тесную связь с порядком реки: с увеличением размера реки относительная скорость уменьшается, при этом значение корреляционного отношения составляет 0,73 (рис.3):

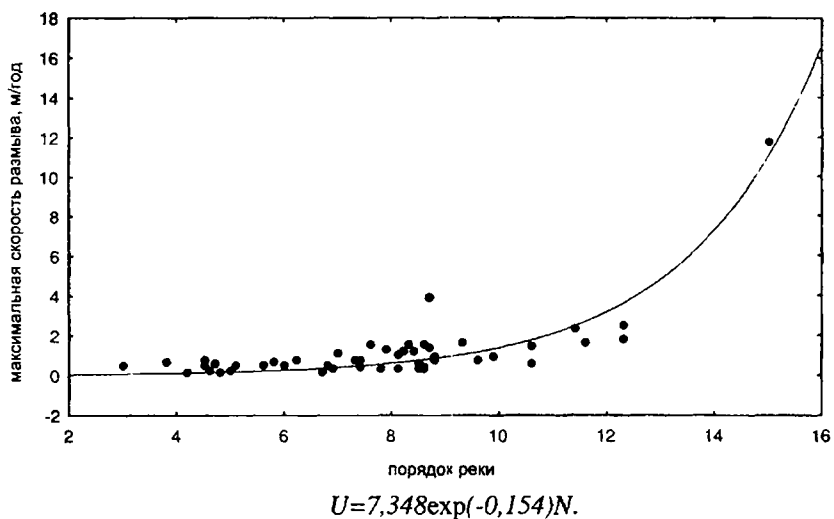


Рис. 2. Зависимость максимальной скорости размыва от порядка реки

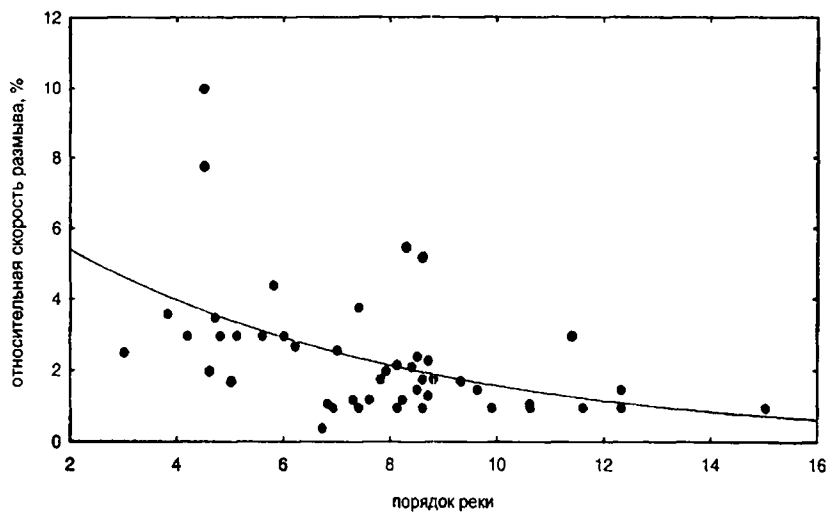


Рис. 3. Зависимость относительной скорости размыва от порядка реки

Величина расхода воды влияет на интенсивность горизонтальных деформаций. С ростом водности рек увеличиваются среднегодовые ($r=0,869$) (рис. 4) и максимальные скорости размыва берегов ($r=0,936$). Связь эта имеет линейный характер и описывается уравнением:

$$C=0,795+0,013Q.$$

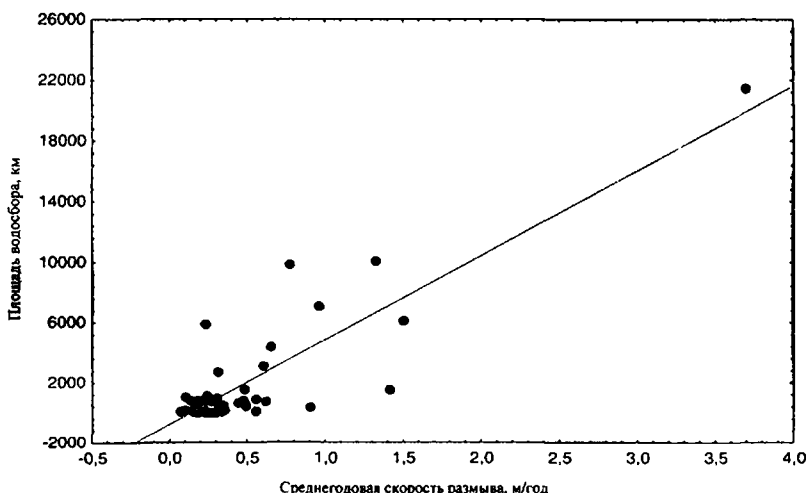


Рис. 4. Зависимость среднегодовой скорости размыва от среднегодового расхода

Расход воды, как известно, является функцией площади водосбора. Анализ зависимости скорости горизонтальных деформаций от площади водосбора выявил тесную связь между этими показателями (рис.5): коэффициент корреляции равен 0,865.

Продолжительность половодья и межени, а также среднегодовой объем стока в разные годы неодинаковы. Если в течение ряда лет водность половодья снижается, интенсивность деформаций русла обычно несколько затухает; наоборот, повышение водности половодья сопровождается ростом интенсивности деформаций.

Строительство инженерных сооружений на берегах и в руслах рек, прокладка коммуникаций через реки также приводят к изменению руслового режима. Одной из наиболее «старых» форм локального инженерного воздействия на русла является мостовые переходы. Мостовой переход яв-

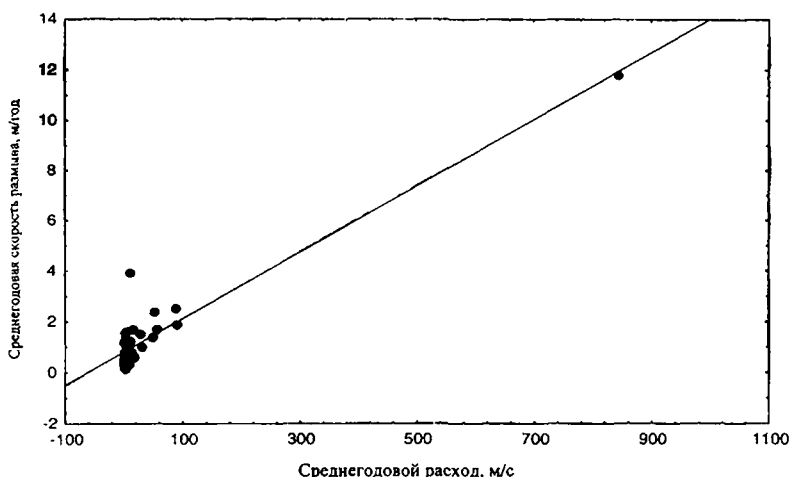


Рис. 5. Зависимость среднегодовой скорости размыва от площади водосбора

ляется причиной стеснения потока половодья или паводка, что приводит к образованию кривой подпора выше моста (особенно велик подпор у водопропускных отверстий дорожных насыпей, перегораживающих малые реки) и кривой спада – ниже моста. Это увеличивает удельный расход воды и способствует усилению общего размыва. Ниже мостов могут происходить резкие изменения морфологии русла и интенсификация горизонтальных деформаций. На примере некоторых ключевых участков прослеживаются различия в интенсивности русловых деформаций выше и ниже мостовых переходов: скорости размыва берегов выше моста намного меньше (табл. 4).

Таблица 4

Скорости размыва берегов выше и ниже мостовых строений
(данные 2003 г.)

Ключевой участок	Среднегодовые скорости (м/год) размыва берегов	
	Выше моста	Ниже моста
р. Ита, п. Зура	0,10-0,15	0,25-0,40
р. Лып, д. Сосновый Бор	0,01-0,1	0,50-0,90
р. Гольянка, с. Гольяны	0,1-0,2	0,30-0,50
р. Лудзинка, д. Юски	0,05-0,1	0,30-0,40

При осушительных мелиорациях реки служат водоприемниками, за счет чего происходит увеличение водности рек. Увеличение объема стока приводит к активизации размывов пойменных берегов. Наблюдается также активное понижение отметок дна; одновременно с этим происходит активное переформирование излучин. Пример такого рода наблюдается на ключевом участке в районе с. Нылги (р. Нылга), где в долине реки создана сеть дренажных каналов, через которые вода с поймы поступает в русло реки. Благодаря этому для реки характерно активное развитие процесса меандрирования, преобразование развитых сегментных излучин, относительно высокие для малых рек скорости боковой эрозии.

В результате нарушения естественного хода эрозионно-аккумулятивных процессов, вызванного увеличением поступления наносов с эродируемых антропогенно измененных водосборов, на поверхности поймы начинает формироваться новая генерация антропогенно обусловленного аллювия, получившего название "*наилок*", обладающего рядом признаков, отличающих его от ниже залегающих горизонтов. Имеющиеся материалы по заилению пойм малых рек Удмуртии [Перевошиков, 1997; Егоров, Илларионов и др., 1993] и публикации по другим регионам [Курбанова, 1990, 1991, 1992; Голосов, 1998, 2000] указывают на то, что основной причиной формирования пойменного наилка повышенной мощности является активизация эрозионно-аккумулятивных процессов на водосборах вследствие их хозяйственного освоения. Продукты бассейновой эрозии, как правило, аккумулируются в самых верхних звеньях речной сети из-за резкого снижения уклонов, а значит и транспортирующей способности потока. Наличие значительных мощностей наилка в средних и нижних звеньях речной сети говорит уже о существенной роли в его формировании продуктов русловой эрозионной деятельности. Нарастивание высоты поверхности пойм относительно меженного русла ограничено величиной максимального уровня воды, стабилизация которого в конечном итоге ведет к активизации боковой эрозии и началу формирования новой поймы.

В литературе, посвященной вопросам эрозионно-аккумулятивного баланса, приводятся довольно противоречивые данные по количеству материала, аккумулированного в поймах малых рек. Если брать все малые реки в пределах одного бассейна крупной реки, то расхождения незначительны и по разным оценкам в них аккумулируются 80-90% вовлеченного в движение материала [Рохмистров, 1989; Веретенникова и др., 1990; Ковальчук, 1992; Мозжерин, 1994; Добровольская, Зорина и др., 2001]. В то же время, по данным М.В. Веретенниковой и др. [21], в самых верхних звеньях постоянной гидросети откладывается от 28 до 54% наносов, поступающих с поверхности водосбора. В балансовой модели В.Н. Голосова [1998], составленной для р. Протвы (площадь - 3640 км², залесенность - 60%), доля аккумуляции составляет лишь 30,6%.

По нашим наблюдениям и расчетам [Перевошиков, 1997], на территории Удмуртии аккумуляция в днищах речных долин возрастает по мере

увеличения порядка бассейна. Если в долинах речных бассейнов 1-го порядка (по системе Философова - Стралера) аккумулируются 20% годового объема поступления наносов, то в долинах 4-го порядка эта величина возрастает до 95%. Доля аккумуляции в виде пойменного наилка от суммарного поступления наносов в речных бассейнах 1-4-го порядка изменяется в диапазоне от 3-4% до 10-15% соответственно. Полученные закономерности указывают на то, что реки 1-го порядка, в первую очередь, выполняют функцию транзита, а функция аккумуляции ложится на малые реки более высоких порядков.

Натурные наблюдения показывают [Перевощиков, 1997], что даже в условиях достаточно высокой обеспеченности расходов воды, когда вода выходит на пойму только по ее пониженным участкам, отлагающийся наилок имеет мощность до 200 мм. При этом, отложения обычно представлены в виде языков (гряд) длиной не более 12 м, шириной до 6 м (р. Кобылка, 1990 г., приток р. Вотки 2-го порядка, р. Малая Вотка, р. Июль, 1994 г.). При площадном отложении наилка, что было отмечено на р. Лумпуне (1994 г.), когда вода покрывала пониженные участки поймы, мощность свежего наилка составляла не более 10 мм и имела относительно равномерное распределение в пределах всей зоны аккумуляции. По-видимому, на большей части поймы, основная масса наносов (глинистая фракция) оседает на травянистом покрове. В последующем она смывается атмосферными осадками и ложится на грунт. Со временем происходит уплотнение осадка, уменьшающее общую мощность наилка.

Кроме разовых наблюдений за скоростью осадконакопления в поймах малых рек Удмуртии, имеются радиоуглеродные датировки абсолютного возраста погребенных почв и самого наилка в пойме р. Валу у г. Можги [Курбанов, Петренко, 1990]. Согласно им, средняя многолетняя скорость осадконакопления всей толщи наилка составляет 0,76-0,80 мм/год. Возраст погребенной почвы в данном случае оценивается в 2370 ± 70 лет. За последние 30 лет скорость формирования наилка составила уже 13,3 мм/год (при освоенности водосбора – 45%).

Определенную и, по-видимому, значительную роль в процессах аккумуляции и формирования пойменного наилка играли и играют многочисленные гидротехнические сооружения. В отдельные маловодные годы, когда весенний сток в основном осуществляется в пределах русловой части речной долины, выход воды и аккумуляция наносов на поверхности поймы могут быть вызваны наличием в русле естественных и искусственных препятствий. К естественным причинам, повышающим уровень воды в русле можно отнести образование заторов льда и заломов из стволов деревьев, бобринные запруды и четкообразное строение речных долин. В большинстве случаев, за исключением последнего, действие этих факторов непродолжительно, и вряд ли существенно влияет на продолжительность затопления поймы.

Искусственные причины, способствующие изменению уровня воды в русле, связаны, главным образом, с гидротехническими сооружениями. В пре-

делах Удмуртии они представлены прудами долинно-запрудного типа, в недалеком прошлом водяными мельницами и малыми гидроэлектростанциями, имевшими преимущественно русловой тип. Кроме того, определенное влияние на изменение режима стока в пределах поймы оказывают мостовые переходы и дамбы автомобильных и железных дорог [Беркович, 1992].

Широкое распространение малых искусственных водохранилищ-прудов наиболее характерно для территорий с высокой степенью освоенности. Часть малых водохранилищ Удмуртии имеют довольно солидный возраст (с XVIII в.) и существуют до настоящего времени. В это же время началось интенсивное строительство мельничных прудов. В начале XX в. широкое распространение получили небольшие электростанции местного значения на малых и средних реках, прекратившие свое существование в конце 1960-х годов. Современные пруды в большинстве своем построены во второй половине XX в. За столь продолжительный временной отрезок прудовое хозяйство Удмуртии, несомненно, оказало значительное воздействие на эрозионно-аккумулятивный баланс речных бассейнов.

Область повышенной аккумуляции в прудах включает в себя днище и зону подпора в верхнем бьефе, где процессы седиментации по своей интенсивности занимают ведущие позиции. Со временем в результате занесения и заиления русла реки в верхнем бьефе происходит деформация продольного профиля реки, а граница подпора постепенно смещается вверх по руслу. В результате в период весеннего половодья выше прудов значительно расширяется область аккумуляции за счет увеличения площади пруда, а наличие подпора и деформации продольного профиля способствует затоплению поймы даже в маловодные годы. По данным М.Я. Прытковой [1981, 1991] наносоудерживающая способность прудов в лесной зоне колеблется в пределах 10-70% в зависимости от мутности водотока. В лесостепной и степной зоне задерживается более 95% переносимых рекой наносов.

По нашим наблюдениям [Перевошиков, 1999, 2000] в 1994 г. в Центральной Удмуртии пруд площадью 23 га в весенний период удерживал 53-68% наносов, в то время как в летний период данный показатель уменьшился до 37,5%. По имеющимся данным исследований заиления прудов в Татарстане (вблизи южных границ Удмуртии) [Ресурсы..., 1993] скорость осадконакопления изменяется от 0,13 до 1,5 мм/год, составляя в среднем 0,57 мм/год. По материалам нашей съемки мощности донных отложений Березовского залива Воткинского пруда (1994 г.), скорость осадконакопления за 235 лет его эксплуатации составила 2,1 мм/год [Перевошиков, 2000].

Обращает на себя внимание то, что скорость осадконакопления в прудах и на поймах малых рек в большинстве случаев имеет один порядок. Это говорит о том, что основная масса наносов аккумулируется в днищах речных долин в период весеннего половодья.

Огромное влияние на формирование поверхности поймы в антропогенных ландшафтах оказали водяные мельницы, просуществовавшие до 60-х гг. XX столетия.

В целом для территории Удмуртии общее количество всех типов гидротехнических сооружений, включая ранее существовавшие мельницы и сельские ГЭС, приближается к 6500 [Перевошиков, 2000]. Анализируя особенности их размещения, можно прийти к выводу, что максимальная плотность всех видов гидротехнических сооружений (ГТС) характерна для рек 4-го порядка, где расстояние между соседними сооружениями составляет в среднем 1,3 км. Наименьшей плотностью характеризуются реки 1-го порядка (6,0 км). Если из данного показателя убрать численность мостовых переходов, влияние которых на процессы осадконакопления не столь существенно, то наибольшая плотность размещения по-прежнему остается на реках 4-го порядка (2,0 км), а минимальная на реках 1-го порядка (52,8 км).

Сопоставив полученные данные с морфометрическими характеристиками водотоков разного порядка, можно рассчитать средние показатели длины подпора при русловом типе подпруживания рек, а также суммарную длину подпора (табл. 5).

Таблица 6

Некоторые морфометрические характеристики пойменной поверхности и условия осадконакопления под влиянием ГТС запрудного типа на реках Удмуртии 1-4 порядков

Показатель	Порядок реки			
	1	2	3	4
Средний уклон, %	15,1	7,5	3,2	1,3
Средняя ширина поймы, км	0,049	0,074	0,128	0,222
Средняя высота поймы относительно меженного уреза воды, м	1,2	1,7	2,3	3,0
Средняя длина подпора при русловом подпруживании, м	80	227	719	2308
Суммарная длина проявления подпора:				
в километрах	16	173	789	1849
в % от суммарной длины речной сети	0,2	3	22	100

Таким образом, результаты исследования показывают, что реки 1-го порядка в целом не испытывают сколько-нибудь значимого воздействия со стороны ГТС запрудного типа. Около 3% общей длины русел рек 2-го порядка в той или иной мере испытали на себе воздействие ГТС. На реках 3-го порядка данная величина составляет уже 22%, а реки 4-го порядка практически полностью (в пределах освоенных территорий) находились под воздействием гидротехнических сооружений запрудного типа. Естественно, данные цифры дают лишь обобщенную характеристику распределения ГТС

и их влияния на аккумуляцию в днищах речных долин. Недостатки предлагаемого подхода заключаются в том, что общее количество сооружений запрудного типа рассчитывалось из их максимального количества в различных временных отрезках (за 200-летний период). Поэтому область прежнего воздействия мельниц в настоящее время может быть перекрыта современным воздействием ГЭС, действующих прудов и мостовых переходов. Тем не менее, полученные цифры требуют учитывать возможное влияние ГТС на весь ход эрозионно-аккумулятивных процессов, особенно в речных долинах, затронутых хозяйственной деятельностью человека.

ЛИТЕРАТУРА

Дедков А.П., Мозжерин В.И., Ступишин А.В., Трофимов А.М. Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1977.

Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984.

Петухова Л.Н. Развитие русловых процессов в условиях различных ландшафтов Удмуртии // Вестн. Удм. ун-та. Сер. «Науки о Земле».

Ivan Rysin, Larisa Petukhova. Monitoring of channel processes on the interfluvium between the Kama and the Vyatka rivers // Sediment Transfer through the Fluvial System (Proceedings of the International Symposium held at Moscow, August 2004). IAHS Publication 288, 2004.

Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955.

Кондратьев Н.Е., Ляпин А.М., Попов И.В., Пиньковский С.И., Федоров Н.Н., Якунин И.И. Русловой процесс. Л.: Гидрометеиздат, 1959.

Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971.

Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986.

Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излучины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004.

Пахомова О.М. Горизонтальные русловые деформации и их связь с порядковой структурой речной сети, // Геоморфология, №3, 2002

Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеиздат, 1985.

Перевошиков А.А. Закономерности формирования антропогенно обусловленного пойменного аллювия в долинах малых рек Удмуртии: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Казань: КазГУ, 1997.

Егоров И.Е., Илларионов А.Г., Рысин И.И., Стурман В.И. Влияние антропогенного фактора на эрозионно-аккумулятивные процессы в бассей-

нах малых рек Вятско-Камского региона // Геоморфология, № 3, 1993.

Курбанова С.Г. Палеогеографическое значение погребенных почв пойм малых рек бассейнов Вятки и Средней Волги // Физико-географические основы развития и размещения производительных сил Нечерноземья Урала. Пермь: Изд-во Пермск. ун-та, 1991.

Курбанова С.Г. Влияние хозяйственной деятельности на изменение гидросети и накопление аллювия на малых реках Востока Русской равнины // Геодинамика равнинного рельефа.- Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1992.

Курбанова С.Г., Петренко Л.В. Антропогенно обусловленная аккумуляция аллювия малых рек Востока Русской равнины // Эрозионные процессы и окружающая среда. М.: Наука, 1990.

Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы и баланс наносов в бассейне р.Протвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5, География, 1988, № 6.

Голосов В.Н. Влияние антропогенных факторов на сток наносов рек бассейна Оки // География и природные ресурсы, № 3, 1988.

Голосов В.Н. Использование радионуклидов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов // Геоморфология, № 2, 2000

Веретенникова М.В., Добровольская Н.Г., Жук И.Е. и др. Баланс наносов в геоморфологическом эрозионно-аккумулятивном комплексе на малом водосборе // Экзогенные процессы и окружающая среда. М.: Наука, 1990.

Добровольская Н.Г., Зорина Е.Ф., Кирюхина З.П., Литвин Л.Ф., Никольская И.И., Прохорова С.Д. Бассейновая эрозия и флювиальная денудация центра Русской равнины // Геоморфология, №2, 2001.

Ковальчук И.П. Тенденция изменения состояния малых рек как результат антропогенного воздействия и развития эрозионно-аккумулятивных процессов в их бассейнах // Седьмое межвуз. координац. совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Ижевск: изд. Удм. ун-та, 1992.

Мозжерин В.И. Геоморфологический анализ твердого речного стока гумидных равнин умеренного пояса: Автореф. дис... докт. геогр. Наук, СПб, 1994.

Рохмистров В.Л. Влияние хозяйственной деятельности человека на водосборы малых рек Ярославского нечерноземья // Изв. ВГО. Т. 121. Вып.1, 1989.

Беркович К.М. Регулирование речных русел. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992.

Прыткова М.Я. Осадконакопление в малых водохранилищах. Балансовые исследования. Л.: Наука, 1981.

Прыткова М.Я. Влияние прудов и малых водохранилищ на сток наносов рек // Эрозиоведение: теория, эксперимент, практика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991.

Перевошиков А.А. Гидротехнические сооружения Удмуртии и их роль в процессах аккумуляции наносов на пойме // Вестник Удм. ун-та. Сер. «Науки о земле». Ижевск: Изд-во Удм. ун-та. 2000, с. 101-110

Ресурсы поверхностных вод СССР. Средний Урал и Приуралье Том.11 / Под ред. Н.М. Алюшиной.- Л.: Гидрометеиздат, 1973.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ДОЛИНЫ И РУСЛА РЕКИ СУХОНЫ

Сухона – крупная река Европейского Севера России. Исток ее находится в юго-западной части Кубенского озера, заканчивается Сухона при слиянии с р. Югом, образуя р. Малую Северную Двину. Протяженность Сухоны – 558 км, площадь водосбора 50 300 км², при этом на долю водосбора Кубенского озера приходится 14 700 км² (29,2%) [Ресурсы...,1972]. Водосбор и долина р. Сухоны вытянуты в северо-восточном направлении, водораздельная линия субпараллельна долине.

К важнейшим особенностям долины Сухоны относятся четко выраженное влияние на ее положение, на очертания водосбора и на продольный профиль структурно-тектонических условий, а также прямое и косвенное воздействие событий четвертичного времени, в особенности – позднеплейстоценовых оледенений, связанных с ними гляциоизостатических движений и эвстатических колебаний уровня моря.

Геолого-географическая обстановка и палеогеографические условия привели к тому, что верховья, среднее течение и низовья реки существенно различаются. От истока до впадения в нее р. Вологды выделяется Верхняя (Рабангская) Сухона, или просто Рабанга. Средняя Сухона некоторыми исследователями выделяется от устья р. Вологды до пос. Брусенец. Нижняя Сухона – от пос. Брусенец до слияния с р. Юг [Сердитов, 1957]. Примерно этими же рубежами разделяется Сухона на три участка по характеру русла: два верхние – широкопойменные, нижний – врезанный [Русловой режим..., 1994].

В структурно-тектоническом отношении озеро Кубенское и самая верхняя часть бассейна Сухоны находятся на склоне Онежско-Сухонской моноклинали. Основная часть левобережья бассейна Сухоны тяготеет к Грязовецко-Тарногскому тектоническому прогибу, прослеживаемому в осадочном чехле и протягивающемуся на 350 км в северо-восточном направлении от г. Грязовца к ст. Илеза. Глубина прогиба в верхнепермских отложениях составляет 160 м. Склоны прогиба осложнены рядом локальных поднятий: Тотемским, Заболотьинским, Тарногским. В правобережной части бассейна Сухоны располагается Солигаличско-Сухонский мегавал, осложняющий северо-восточное замыкание Московской синеклизы. Он вытянут примерно 300 км на северо-восток от г. Солигалича к с. Бобровскому, в районе которого пересекает долину Сухоны. Амплитуда мегавала в среднем составляет 200-210 м, мегавал состоит из системы протяженных асимметричных валов и из кулисообразно сочленяющихся поднятий. Наряду с пологими складчатыми дислокациями в коренных породах осадочного чех-

ла содержатся разрывные нарушения. Развитие указанных структур продолжалось с протерозоя до четвертичного времени. Солигаличско-Сухонский мегавал свою активность не утратил и в настоящее время, о чем свидетельствуют проявления сейсмичности [Буслович, 2002]. Приустьевой участок долины расположен в пределах Котласско-Яренского прогиба.

В плейстоцене рассматриваемая территория неоднократно подвергалась воздействию покровных ледников, которые несколько преобразовали эрозионно-денудационный рельеф дочетвертичной поверхности, доледниковая долина Сухоны оказалась погребенной. В настоящее время наблюдается лишь частичное соответствие современной и древней долин реки.

В позднемосковское время и на заключительных стадиях позднечетвертичных оледенений вдоль долины Сухоны по обе ее стороны располагались обширные приледниковые водоемы. Следы абразионно-аккумулятивной деятельности водоемов прослеживаются до отметок более 160 м, этапы снижения уровней фиксируются озерно-ледниковыми и озерными террасами. Наиболее крупный водоем располагался в верхней части бассейна Сухоны, его акватория на северо-восток простиралась до устья р. Толшмы, на север протягивалась к низменностям озер Воже и Лача. Одним из остатков этого древнего водоема является мелководное Кубенское озеро.

Котловина озера вытянута на юго-восток, ее длина 85-90 км при ширине от 18 км в наиболее узком месте до 35 км в юго-восточной части. Контуры котловины очень четкие, в ней зафиксированы террасы с отметками тылового шва 114, 118, и 125 м. Менее четко выражены террасовые уровни 130-135 м и 140-145 м. Аналогичные террасовые уровни прослеживаются по границам низин вплоть до г. Тотьмы. Поверхность самой низкой террасы плоская, сильно заболоченная. Эта однообразная поверхность осложняется невысокими – до 1,5 м береговыми валами шириной до 10 м, сложена терраса мелкими песками, содержащими местами крупнообломочные отложения, прослой глинистого и илистого материала общей мощностью до 8 м.

При среднемноголетней отметке уровня 109,4 м площадь озера несколько превышает 400 км². Экстремальные отметки уреза Кубенского озера за период наблюдений (д.Коробово) изменялись от 113,47 (20.05.55) до 107,01 (8.10.37). Во время весеннего половодья размеры озера существенно увеличиваются, при максимальном уровне – вдвое, при низких уровнях во время ледостава лед ложится на дно, вблизи истока Сухоны остается лишь узкая протока [Поляков, 2002].

Сухона вытекает из Кубенского озера двумя рукавами: основным (собственно Сухона) и второстепенным (Большой Пучкас). Большой Пучкас делится на многочисленные протоки и соединяется с основным руслом Сухоны в 8 км от ее истока. Для регулирования стока Сухоны в целях судоходства в 1834 г. построена плотина «Знаменитая», в последующем неоднократно реконструировавшаяся.

Вблизи своего истока долина Сухоны как таковая практически отсутствует. Ниже слияния рукавов параллельно руслу по правому берегу на

несколько километров протянулись озовая гряда, сложенная песчаным и крупнообломочным материалом. Русло Сухоны слабо врезано в заболоченное днище Верхнесухонской низины, его ширина до 50-100 м, высота пойменных берегов около 1 м, отложения, слагающие берега Сухоны на этом участке, преимущественно глинистые, местами у берегов встречаются валуны. В дальнейшем, ниже плотины ширина русла увеличивается до 130 м и более, высота берегов до 1,5–2,0 м, у деревень Шитробово и Рязанка появляются каменистые мели.

В районе г. Сокола Верхняя Сухона пересекает невысокую, но четко выраженную Оларевскую конечно-моренную гряду, высота берегов над меженным уровнем увеличивается до 8 м (в черте г. Сокол, около устья р. Волкуша), прерывистая пойма имеет ширину до нескольких десятков метров.

Ниже г. Сокола высота меженных берегов уменьшается до 3–4 м, ниже д. Селище и переката Тетеревинский до устья р. Вологды сильно возрастает извилистость русла при малом радиусе кривизны излучин, мели и перекаты отсутствуют. Почти на всем своем протяжении русло сопровождается береговыми валами относительной высотой до 1,5 м. Меженная глубина русла местами достигает 6 м. Для русла Верхней Сухоны характерно наличие переуглублений с водоворотами. У местных жителей даже бытовала скороговорка: «Рабангская водовороть всех водоворотей водоворотоватее» [Иваницкий, 1960]. Наличие русловых переуглублений, по-видимому, связано с обильной подрусовой разгрузкой подземных вод [Филенко, 1966].

Вниз по долине поймы Сухоны расширяется, становится ложбинно-гривистой, со старичными озерами, местами заочкарена, в прирусловой части покрыта кустарниками, на удалении от русла – заболочена. Вблизи устья р. Вологды правобережная пойма (обширный участок затапливаемого днища Верхнесухонской низины) занята низинным травяным болотом с небольшими остаточными озерами (Молотовское, Коровье и др.), следами блуждания русел рек, в т.ч. внутридолинными перехватами русел. Извилистость русла Сухоны настолько мешала судоходству, что еще в XIII в. 21-километровая макроизлучина (Окольная Сухона, до сих пор сохранившаяся в виде старицы) была спрямлена прорезью длиной 250 м («Княже-Глебова прость»).

В дальнейшем на Верхней Сухоне излучины-«мысы» неоднократно срезались, в частности, в 1949 г. срезан Бабанов мыс, вследствие чего образовался остров Бабанов.

Малые уклоны Верхней Сухоны, протекающей в пределах выположенного днища древнего озерного водоема, предопределили формирование противотечения, направленного в сторону Кубенского озера, к истоку реки, почти ежегодно возникающего в период подъема весеннего половодья. Средняя продолжительность обратного течения составляет 8 суток при среднемноголетнем расходе $114 \text{ м}^3/\text{с}$ [Поляков, 2002].

Для верхней части бассейна Сухоны, где он совпадает с древним озерным водоемом, характерна большая мощность четвертичных отложений, наличие доледниковых врезов погребенной долины. Около устья р. Вологды древняя долина врезана до 69 м [Проблемы..., 2000].

Ниже устья р. Вологды и находящегося поблизости от него устья р. Лежи (до спрямления Окольной Сухоны устья Вологды и Лежи располагались в нескольких километрах южнее их современного положения) Сухона, попадая в пределы Грязовецко-Тарногского тектонического прогиба, довольно резко изменяет свое направление с южного на северо-восточное (рис. 1). На участке от устья р. Вологды до д. Ноземские Исады Сухона протекает в низких заболоченных берегах, дно преимущественно глинистое, только ниже устьев рек Вологды и Лежи встречаются песчаные гряды. Извилистость русла по сравнению с соседним выше расположенным участком несколько уменьшается, ширина русла колеблется от 80 до 200 м, в нем встречаются переуглубления. В недавнем прошлом около устья р. Вотком глубина плеса достигала 18 м (Ивановская водовороть); в настоящее время в связи с техногенной активизацией стока наносов глубина переуглублений за счет их заиления уменьшилась.

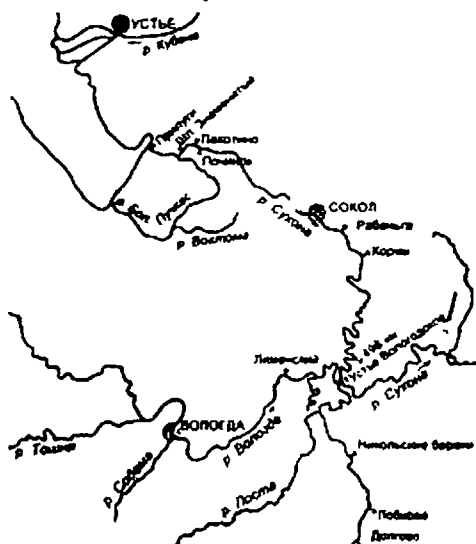


Рис.1. Гидрографическая сеть верхней части бассейна р. Сухоны. Δ – гидрологические посты.

Во время весеннего половодья низменная полоса вдоль русла Сухоны шириной от 2 до 15-18 км на несколько дней обычно затопливается. (отметка максимального подъема уровня на г.п. Наремы, расположенном несколько ниже рассматриваемого участка - 111,92). На заболоченной пойме (на затопливаемом днище Верхнесухонской низины) находится множество озер, наиболее крупные из них - Ивановское, Костье, Омутье, Гагарье, Марша. Озера соединяются между собой и с руслом Сухоны узкими изви-

листыми протоками (Дубня, Кондоба, Борозда, Быстрец, Шуйский Пучкас и др.). Часть озер является остатками обширного послеледникового водоема, часть озер – старичные; многие из озёр, по-видимому, имеют донную подпитку за счет разгрузки подземных вод.

Наиболее высокое положение на пойме занимают береговые валы высотой около 1 м при ширине от 30 до 60 м. Они прослеживаются как вдоль современного русла, так и на удалении от него. Ниже устья протоки Марша (102-103 км) в русле появляется каменистая отмель – перекат Маршевский, на участке 107-110,5 км находится каменистый перекат Торопиловский «перебор», на участке 111,5-112 км – перекат Каменная Коса. Появление большого количества валунов в донных грунтах свидетельствует о близком залегании морены, размываемой рекой. Высота пойменных берегов увеличивается до 3 м, извилистость русла существенно уменьшается. Ниже устья р. Наремки ширина русла в среднем составляет 200 м, в районе острова Глебова, первого от истока естественного острова, увеличивается до 500 м. Со 119 по 122,5 км тянется каменистый перекат Груздовой. В нескольких километрах выше устья р. Двиницы, у переката Таганчик в русле Сухоны появляются скопления песка.

Характер долины Сухоны начиная от котловины Кубенского озера и до устья р. Двиницы в общих чертах сохраняется, но Верхнесухонская низина становится уже, ее борта приближаются к руслу Сухоны.

На участке между устьями рек Двиница и Царева вдоль долины Сухоны почти на всем ее протяжении проходит зона тектонического разлома, по которой фиксируются новейшие движения. Разлом проявляется в резких поворотах долины и наследуется древней погребенной долиной Сухоны [Прогноз..., 1987]. Между устьем р. Двиницы и с. Шуйским ширина меженного русла колеблется от 150 до 300 м, в донных отложениях присутствует песок, камни-«единцы». Ниже с. Шуйского присутствие песка в русловых наносах увеличивается, он даже формирует перекат Шуйские пески. Гривистая пойма (рис.2) сформирована грядами, субпараллельными руслу.

Ниже д. Мотыри извилистость русла несколько увеличивается, ширина его меняется в пределах 150-300 м при высоте меженных берегов 2-3 м, каменистость донных отложений сохраняется, часто встречаются острова. Значительной каменистостью отличается участок от д. Селища до устья р. Молонги, где Сухона делает резкий поворот на север. Около д. Селища в русле есть каменные гряды, в 3 км ниже их камень «Попова Баня» и перекаты Верхний, Средний и Нижний Ихалицкие, представляющие собой цепь каменистых гряд, тянущихся на 6 км до устья р.Молонги. Вдоль поймы встречаются участки «каменной отмости» (рис.3). Перед пос. Туровец Сухона вновь «разворачивается» на северо-восток, ниже него извилистость русла уменьшается, увеличивается высота меженных берегов до 5 – 6 м.



Рис. 2. Гривистая пойма на Средней Сухоне во время весеннего половодья.



Рис. 3. «Каменная отмостка»

Между устьями рек Толшмы и Печеньги русло Сухоны почти прямолинейное, много песчаных перекатов и островов, выдающихся над меженным уровнем на 0,5-1,0 м, встречаются галечные косы, камни-одиноцы.

Почти через равные расстояния вниз по течению в русле расположены сравнительно крупные не затапливаемые в половодье острова Еловец, Осовик и Шахтыш. Высота левого берега в межень составляет 4-5 м, местами до 10 м, правого – до 15 м.

Ниже устья р. Печеньги Сухона снова делает довольно резкий поворот на север. Для русла также характерно обилие островов и перекатов. Самые крупные из островов – Дедов, Бабий и Внуков, длина Дедова острова – 1,5 км при ширине 0,5 км, высота над меженным урезом – 15 м; от его оголовка к правому берегу идет каменистая коса с камнями-одинцами. На 263 км находится перекат Седлю – каменистая коса, высота обрывистого левого берега 10-15 м, в его основании – скала, покрытая осыпающимся суглинком. Ниже устья р. Царевы – «высыпка» песка. Перед самой Тотьмой – перекат Холодиловские Гряды, сложенный песком, глиной и камнями.

В районе г. Тотьмы в осадочном чехле прослеживаются тектонические дислокации параллельные и перпендикулярные направлению долины. Современная долина реки иногда вложена в доледниковую долину, иногда отклоняется от нее. Ниже г. Тотьмы Сухона делает сравнительно небольшой коленообразный изгиб: резкий поворот на восток, который быстро сменяется поворотом на север, а затем снова на восток-северо-восток.

Русло здесь заметно отличается от предыдущих участков Верхней Сухоны, оно на всем протяжении состоит из гальки, камней и луды (местное название участков твердой глины или мергеля в русле реки); песок встречается на отдельных участках у берегов. Высота правого берега составляет 10-20 м, левый берег ниже – до 10 м. Ширина меженного русла Сухоны в г. Тотьме – 120-150 м. На 17-километровом участке от г. Тотьмы до устья р. Старой Тотьмы расположено 7 перекатов, 3 острова, в русле много камней, в том числе крупный валун – камень Лось, выступающий в межень над урезом на 4 м. В устье р. Старая Тотьма находится крупная песчаная коса, «отжимающая» судовой ход к левому берегу Сухоны. Подобный характер русла (наличие перекатов, камней, луды) сохраняется до устья р. Городищны.

Далее вниз по течению характер долины Сухоны постепенно меняется: высота берегов заметно увеличивается местами до 25-30 м, ниже пос. Камчуги в береговых обрывах появляются коренные породы (пермские красноцветы), в обнажениях пород прослеживаются тектонические дислокации. На левобережье Сухоны установлены новейшие поднятия приразломных структур [Прогноз..., 1987]. Ниже устья р. Городищны в рельефе заметно проявляется Бобровская положительная структура Солигаличско-Сухонского мегавала.

В долине Сухоны и ее притоков отмечаются глубокие – до 100 м погребенные врезы [Прогноз..., 1987]. В береговых обрывах обнажаются пермские красноцветы, появляются участки русла со скальным ложем на фарватере (перекат Сторожевик), ближе к берегам дно реки покрыто много-

численными камнями. Левый берег становится выше правого, достигая 30-40-метровой высоты.

Около д. Дмитриево (считающейся родиной землепроходца Е.П.Хабарова) выделяется небольшой участок, в пределах которого русло отличается от соседних участков. На фарватере находится широкая борозда, слева ограниченная широкими каменистыми грядами, справа – отмелями, камнями-одиночками, опечками (уступами на дне реки или на пойме, сложенными лудой). В пределах борозды наблюдается интенсивное отложение песков, по-видимому, выносимых в Сухону р. Городищной. Высота левого берега 20-30 м, д. Дмитриево расположено на террасе высотой 5-8 м. Высота правого берега местами достигает 40 м, на нем активно проявляются оползневые и осыпные процессы.

Относительная прямолинейность русла сохраняется до устья р. Бобровки, ниже извилистость русла увеличивается, ширина убывает, вдоль его тянутся выступающие к фарватеру каменистые гряды, опечки, камни-одиночки, ложе русла мергелистое (рис.4). По береговым откосам вблизи меженного уреза идет исключительно активная разгрузка подземных вод (рис.9). Высота правого берега составляет 30-50 м, на левом берегу выражены две террасы: нижняя, супесчаная высотой 10-18 м, и верхняя, коренная высотой 25-30 м, местами они прорезаны глубокими оврагами. На мысах располагаются фрагменты надпойменных террас. В устьях небольших рек Левой и Правой Сученьги, Юрманги в межень обнажаются песчано-галечниковые дельты, выдающиеся в русло Сухоны



Рис. 4. Мергелистый уступ - «опечек», выше его идет активная разгрузка подземных вод

Ниже устья р. Юрманги на протяжении более 10 км перекаатов нет, берега «чистые», русло скалистое, относительно прямолинейное, покрыто незначительным слоем галечника и песка.

Следующий участок, расположенный ниже устья р. Нижней Тозьмы, отличается от верхнего плесового участка большей извилистостью, «засоренностью» русла камнями. На 7-километровом участке находится 3 переката. Высота правого берега изменяется от 15 до 40 м, левого берега выше лога Черторовино - 12-16 м, далее увеличивается, ниже устья ручья Ягрыш, местами берег Сухоны представляет собой утес высотой более 50 м (рис.5).

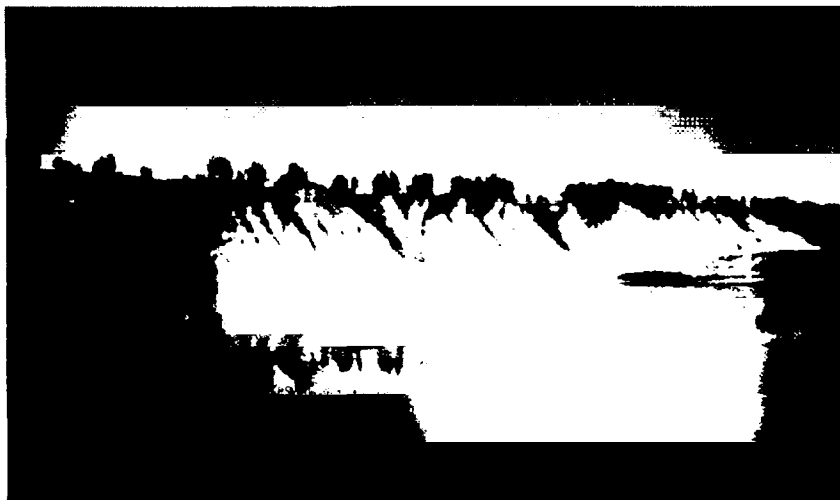


Рис. 5. Утес на левобережье Нижней Сухоны.

Скалистость ложа извилистого русла, обилие в нем перекаатов, камней-одинцов характерны до устья р. Верхней Шиленги. Берега Сухоны остаются высокими – до 60 м, у с. Чермянино на левом берегу выражены две террасы – нижняя, - высотой 15-20 м и верхняя, - высотой до 55 м.

Участок Сухоны от устья р. Верхней Шиленги до слияния Сухоны с р. Югом резко отличается от других участков Нижней Сухоны и напоминает плесовые участки Верхней Сухоны. Вдоль берегов наблюдаются песчаные отмели, редкие камни-одинцы. При слиянии с р. Югом долина Сухоны существенно расширяется. Город Великий Устюг расположен на серии речных и озерно-ледниковых террас, частично – на левобережной пойме Сухоны, примыкающей к пойме Малой Северной Двины.

ЛИТЕРАТУРА

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.3. Северный край.- Л.: Гидрометеониздат, 1972.

Сердитов С.Н. Внутренние воды. // Природа Вологодской области. Вологда, 1957.

Русловый режим рек Северной Евразии. М.: МГУ, 1994.

Буслович А.Л. Тектонические структуры Вологодской области в связи с поисками полезных ископаемых. // Проблемы освоения и использования природных ресурсов северо-запада России. Вологда, 2002.

Поляков М.М. Проблемы управления водопользованием. Вологда, 2002.

Иваницкий Н.А. Песни, пословицы, поговорки. Вологда, 1960.

Филенко Р.А. Воды Вологодской области. Л.:ЛГУ, 1966.

Проблемы стратиграфии четвертичных отложений и краевые ледниковые образования Вологодского региона (Северо-Запад России). М.: ГЕОС, 2000.

Прогноз изменения гидрогеологических условий под воздействием водохозяйственных мероприятий. М.:Недра, 1987.

Научное издание

**ПОЙМА
И ПОЙМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Межвузовский сборник

*Под редакцией проф. Н.Б. Барышникова
и проф. Р.С. Чалова*

Редактор О.С. Крайнова

РЛ № 020309 от 30.12.96.

РГТМУ, 195196. Малоохтинский пр., 98

Отпечатано с готового оригинал-макета в ЦНИТ «АСТЕРИОН»
Заказ № 197. Подписано в печать 27.05.2006. бумага офсетная.
Формат 60x84¹/₁₆. Объем 8,5 п.л. Тираж 100 экз. Санкт-Петербург, 191015, а/я 83,
тел. /факс (812) 275-73-00, 275-53-92, тел. 970-35-70

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Чалов Р.С. Основные направления и общие вопросы изучения пойм как объекта русловедения (в историко-научном аспекте).....	4
Чернов А.В. О типизациях и классификациях речных пойм и пойменных процессов.....	12
Антроповский В.И., Аверичкин О.Б. Условия формирования пойменно-русловых комплексов рек в различных природных зонах восточной части Русской равнины	31
Барышников Н.Б., Польцина Е.В., Кузнецова Е.Н. Антропогенное воздействие на пойменные процессы	39
Злотина Л.В., Иванов В.В., Чернов А.В. Оценка антропогенных изменений экологического состояния пойменных ландшафтов	48
Сурков В.В. Возможности ландшафтно-индикационного метода оценки затопления пойм	58
Барышников Н.Б., Пагин А.О. Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт донных наносов	73
Зайцев А.А. Некоторые результаты исследования соотношения руслового и пойменного потоков по двухслойной модели течения	83
Пирожков В.Г. Оценка размеров русловых образований методом спектрального анализа	95
Ярыш Л.М. Условия формирования и параметры призм подпора воды, обусловленных заторами льда.....	101
Илларионов А.Г., Перевошиков А.А., Петухова Л.Н., Рысин И.И. Размыв берегов и аккумуляция наносов на поймах рек Удмуртии	108
Кичигин А.И. Некоторые особенности строения долины, поймы и русла реки Сухоны	124