

О ПРИНЦИПАХ РЕГИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК И ИХ АНТРОПОГЕННОЙ ДИНАМИКИ¹

Русловой и пойменный рельеф долин средних и малых рек – это наиболее динамичный компонент территориальных ландшафтных комплексов и интегральное выражение как важнейших черт режима увлажнения, так и основных особенностей строения подстилающей поверхности водосборов. Его динамика оперативно реагирует на различные виды хозяйственной деятельности на водосборах и особенно в долинах рек, комплексно характеризуя степень антропогенной нагрузки на ландшафты. В то же время упомянутые формы рельефа являются "носителями" многих наиболее ценных биологических ресурсов и ареной активной хозяйственной деятельности, связанной со строительством разнообразных инженерных сооружений. Отсюда возникает комплекс прикладных хозяйственных задач, связанный с оценкой и прогнозом антропогенных изменений русловых процессов.

Различными аспектами этой проблемы в нашей стране занимались многие ученые: И.Ф. Карасев, Н.И. Маккавеев, И.В. Попов, Б.Ф. Смищенко, Р.С. Чалов, Н.Е. Кондратьев, Н.Б. Барышников, К.М. Беркович; на Дальнем Востоке – А.М. Махинов и др. Однако главное внимание исследователи обычно уделяют крупным и очень крупным рекам, а также специфическим видам воздействий (землечерпание, большие русловые карьеры, крупные водохранилища). Уровень имеющихся знаний, и особенно уровень применяемых знаний, в части взаимодействия массовых видов хозяйственной деятельности на поймах малых и средних рек с русловыми процессами в различных ландшафтных условиях, остается недостаточным. В статье использованы результаты многолетних исследований авторов на юге Дальневосточного региона России [1–3].

Системная методология исследования русловых процессов

Учитывая недостаточно четкое и отчасти дискуссионное содержание понятия системного подхода в географии, подчеркнем, что нами принимается системная методология в том виде, как она развивается определенным направлением гидрологии (географо-, ландшафтно- или геосистемно-гидрологический подход). Основные положения этого направления, как изложено в [4], восходят к концепциям В.Г. Глушкова и В.Б. Сочавы и развивались в трудах Г.П. Калинина, А.И. Субботина, И.Н. Гарцмана, Л.М. Корытного и др. Близкое направление в русловедении развивается школой Н.И. Маккавеева [5, 6]. Некоторые принципы авторской методологии изложены в [1, 2]. Здесь они рассматриваются подробнее, причем авторы стремились не столько к завершенности формулировок, сколько к полноте раскрытия применяемых понятий.

Принцип причинности: тип русла можно считать формой рельефа, изоморфной той или иной форме организации движения воды и транспорта наносов. В основе классификаций речных русел лежит закон ограниченности морфологических комплексов М.А. Великанова: "Взаимоуправление потока и русла приводит в результате всех деформаций к определенным, наиболее вероятным комбинациям между морфометрическими характеристиками русла и гидравлическими характеристиками потока. Наличие этих комбинаций создает известную ограниченность возможных типов речных потоков" [7, с. 58]. Это высказывание представляет собой специфическую формулировку принципа причинности и определяет русловой рельеф в качестве естественного объекта, в отношении которого существуют содержательные процедуры описания, объяснения и предсказания. Подчеркнем географический аспект – речь идет о наиболее

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Макаруров, проект № 0062810-000.

вероятных типах речных потоков при существующем в определенных ландшафтных условиях режиме стока.

Н.И. Маккавеев заложил основы гидролого-геоморфологического направления в исследовании русловых процессов. Процесс руслообразования в наиболее общей форме определяется им как процесс "отображения поверхностью твердой среды (т.е. грунтами, слагающими ложе) особенностей движения воды и перемещаемых ею наносов" [5, с. 137]. Русловые процессы рассматриваются как завершающее звено в цепочке явлений, связанных с воздействием стока на земную поверхность и находящихся в сложном взаимодействии, зависящем от геолого-геоморфологического и ландшафтного строения водосбора.

С этих позиций разработана детальная морфодинамическая классификация Р.С. Чалова [8], представленная в виде иерархической системы блоков. Блок 1 типизирует рельеф; блок 2 – степень литологического ограничения русловых процессов; блок 3 учитывает формы русла, превышающие предельные размеры современных макроформ; блок 4 включает собственно морфодинамические типы русла; блок 5 охватывает явления низшего порядка, обусловленные грядовым движением наносов или неравномерностями коренного ложа потока. Дополнительные блоки учитывают устойчивость русел и состав наносов.

Генетический принцип: координация и субординация возможных форм русловых процессов имеет необходимый характер, выраженный инвариантно-генетической последовательностью (ИГП).

Как отмечал В.Б. Сочава: "Понятие об инвариантах географических объектов и их преобразованиях в пространстве и во времени не менее актуально, чем аналогичные концепции в физике и кристаллографии" [9, с. 8]. Понятие инварианта системы как единства генетического и структурного ее аспектов раскрывает существенные закономерности развития природных систем в биологии, геологии, космогонии и т.д. Вопросы построения ИГП гидрометеорологических систем подробно рассмотрены в методологических работах И.Н. Гарцмана [10, 11]. ИГП системы "водный поток – русло" может быть представлена последовательностью генетически связанных относительно устойчивых состояний морфологии русел, т.е. как их классификация [1, 2].

Сейчас наиболее используемой является типизация Государственного гидрологического института (ГГИ), впервые предложенная Н.Е. Кондратьевым и И.В. Поповым [12], где за ведущий признак принята извилистость русла, тесно связанная с транспортирующей способностью потока. Дальнейшее развитие эта классификация получила в работах Н.С. Знаменской [13, 14], согласно которой последовательность типов русловых процессов в типизации ГГИ не соответствует монотонному изменению транспортирующей способности и также не отвечает последовательности их взаимодействий.

Ею выделяются активные и пассивные русловые процессы. Активными считаются те, которые связаны с движением главных форм – гряд, осередков, побочней, ленточных гряд, и блужданием русла при гладкой форме движения наносов. Эта последовательность соответствует увеличению транспортирующей способности потока и уменьшению гидравлических сопротивлений, что достигается сначала уменьшением общего числа форм на участке, а затем их упорядочиванием. Уточненная Н.С. Знаменской классификация ГГИ представляет собой иерархическую структуру из нескольких генетически упорядоченных рядов русловых форм.

А.Н. Кондратьев [15] считает, что для равнинных широкопойменных рек можно выделить два независимых фактора руслоформирования: транспортирующую способность потока и отношение горизонта прохождения руслоформирующего расхода (Q_{ϕ}) к отметке поймы. Его вариант классификации ГГИ включает два гомологических ряда русловых форм, соответствующих нарастанию транспортирующей способности в одном случае при прохождении Q_{ϕ} в пределах русла (однорукавное русло), в другом случае – при прохождении Q_{ϕ} при затопленной пойме (разветвленное русло).

В типизации ГГИ отчетливо просматривается попытка отобразить генетические

связи руслового рельефа, последовательность этапов изменения русловых макроформ. Однако в ней почти не фигурируют условия формирования речных русел. Принципы классификации Р.С. Чалова, детально учитывая условия формирования русел, в значительной мере игнорируют генетический момент.

Балансовый принцип: закономерность изменения баланса рыхлого материала является сущностью процесса развития системы водный поток – русло.

И.П. Карташов [16], развивая концепцию В.В. Ламакина [17], рассматривает направленность и интенсивность флювиальных процессов в зависимости от баланса рыхлого материала, участвующего в формировании аллювиальных отложений. При этом выделяются стадии врезания, равновесия и аккумуляции. Непосредственная причина наступления и прекращения процессов врезания и накопления аллювия – изменение знака и величины баланса рыхлого материала на участке речной долины. Балансовая характеристика системы, как выражение фундаментальных законов сохранения, является наиболее общим и содержательным ее описанием.

Подчеркнем, что в рассматриваемом случае баланс транспортируемого рыхлого материала на участке реки подразумевает и баланс энергии потока, поскольку состояние равновесия русла достигается только тогда, когда оба они равны нулю. Системный подход предполагает исчерпывающим описание системы, совместно учитывающее круговороты (балансы) вещества, энергии и форм их организации [10]. Между тем в основных классификационных построениях используется один или несколько более частных признаков.

Интересна в этом смысле позиция А.Н. Кондратьева. Анализируя, как упоминалось выше, основания классификации ГГИ [15], он подчеркивает различия между вариантом Н.Е. Кондратьева и И.В. Попова и вариантом Б.Ф. Смищенко. В первом случае основанием классификации является нарастание транспортирующей способности, во втором – расход наносов. В другой статье, опубликованной в том же году, А.Н. Кондратьев пишет уже о соотношении транспортирующей способности потока и стока наносов как условия формирования русел рек разных типов [18]. Дается развернутый анализ типов русловых процессов и их взаимных переходов с точки зрения баланса наносов, представленного в форме "относительной транспортирующей способности" [18, с. 15]. Близость принципов анализа А.Н. Кондратьева и авторов настоящей статьи закономерно приводит к ряду совпадающих результатов.

Принцип дискретности: развитие русловых процессов происходит относительно дискретно на различных структурных уровнях.

Разные структурные уровни соответствуют микро-, мезо- и макроформам руслового рельефа. При этом деформации микро- и мезоформ отражают процесс твердого стока преимущественно в части движения влекомых наносов, в то время как динамика макроформ отражает всю полноту твердого стока [12]. Принцип дискретности русловых процессов предложен Н.Е. Кондратьевым и очень подробно обоснован Н.С. Знаменской [14].

Понятие дискретности неразрывно связано с понятием "руслоформирующие расходы". Наиболее логичное и обоснованное их определение и методика расчета принадлежат Н.И. Маккавееву и Р.С. Чалову [19], согласно которым Q_{ϕ} – это расход, обеспечивающий максимальный объем транспорта наносов за длительные периоды развития русла. Такое понятие Q_{ϕ} , с некоторыми вариациями, сейчас можно считать общепринятым. Н.С. Знаменская в качестве Q_{ϕ} принимает такие диапазоны расходов, которые приводят в движение главные (рядовые) формы руслового рельефа и которым соответствует максимум расхода наносов. Главные формы русла по размерам отвечают образуемому их Q_{ϕ} и остаются унаследованными при снижении расходов, медленно срабатываясь во всем диапазоне расходов воды.

Структурные уровни русловых процессов тесно увязаны с выделением ярусов пойменного рельефа [2]. В условиях крайне неравномерного стока рек зоны муссонного климата четко фиксируются как бы два вложенных одно в другое русла. Одно отвечает меженным уровням, при которых обнажаются косы, побочни, пляжи. Второе

отвечает бровкам высокой поймы, оно заполняется обычно несколько раз в год, но не каждый год, и гидродинамика потока в его пределах в общем остается свойственной именно руслу.

Исходя из этого, будем понимать под низкой поймой все подвижные прирусловые формы, сложенные русловой фацией аллювия, без растительного покрова или покрытие растительностью, устойчивой к ежегодному затоплению. Все они являются мезоформами, и их динамика относится к соответствующему структурному уровню русловых процессов. К высокой пойме относим участки пойменного рельефа, образованные отложениями пойменной фации и в естественном состоянии покрытые растительностью, неустойчивой при ежегодном затоплении. Динамику макроформ руслового рельефа, затрагивающую конфигурацию высокой поймы, относим к верхнему структурному уровню русловых процессов.

Размерный принцип: специфика влияния зональных и азональных факторов русловых процессов выражается в необходимости учитывать размер реки.

Соответствие руслоформирующей деятельности рек природной обстановке их водосборов может быть выявлено только при учете размеров водотоков. А.М. Коротким [20] на примере Приморья показано, что при переходе от гор к равнинам уклоны русел магистральных водотоков (при одновременном возрастании водности) уменьшаются в большей степени, чем крупность руслового аллювия, поэтому в пределах депрессионных зон крупные магистральные реки в целом переносят более грубообломочный материал, чем малые водотоки, вследствие чего характер их русловых процессов близок к горным рекам.

Так, например, русло реки Большая Уссурка в нижнем течении развивается по типу пойменной многорукавности в условиях накопления аллювия, состав русловой фации крупногалечно-гравийный. Впадающая в нее река Маревка почти на всем протяжении свободно меандрирует в условиях динамического равновесия, состав руслового аллювия при этом песчано-гравийный с галькой. То же самое отмечается в нижнем течении р. Бикин и впадающей в нее р. Алчан и т.д., поскольку русловые процессы местных рек определяются окружающими природными условиями, а русловые процессы магистральных рек азональны.

Классификация типов русловых процессов

Классифицируемыми объектами являются морфологически однородные участки речных долин, в пределах которых геолого-геоморфологическое строение и гидрологический режим меняются незначительно. Основной признак указанной однородности – неизменность на участке типа русловых процессов (ТРП). Под последним понимается относительно устойчивая форма организации транспорта наносов, отражающая многолетнюю динамику баланса рыхлого материала. Одновременно каждый ТРП понимается как морфологически определенный и необходимый этап руслового морфогенеза [2].

Инвариантно-генетическую последовательность образуют девять типов русловых процессов (рис. а), объединенных в четыре стадии развития речной долины в соответствии со знаком и величиной баланса рыхлого материала. Каждому ТРП отвечают определенные структурный уровень и условия развития русловых деформаций и поймообразующих процессов. Саморазвитие флювиального морфогенеза определяется отрицательными обратными связями, преимущественно посредством изменения уклона русла, следствием чего является стремление к состоянию динамического равновесия [16].

Стадия врезания является начальной в развитии системы "водный поток – русло". Она включает бесструктурный транспорт наносов, сменяющий тип русловых процессов развивающимися на уровне мезоформ – осередковым и побочным. Признак бесструктурного транспорта – отсутствие устойчивых аккумулятивных форм. Осередковый ТРП характеризуется наличием мест локального замедления транспорта

a

Структурный уровень руслового процесса	Безгрядовое движение наносов	Мезоформы руслового рельефа			Мезо- и макроформы руслового рельефа				Макроформы разных порядков при редукции мезоформ	
Стадии развития речной долины	Врезание			Неустойчивое динамическое равновесие (при большом объеме обменных масс)		Накопление		Устойчивое динамическое равновесие (при малом объеме обменных масс)		
Условия развития русловых деформаций	Ограниченные	Свободные			Ограниченные	Свободные				
	поймообразующих процессов	Беспойменная долина	Ограниченные		Литологически ограниченные		Свободные			
Баланс рыхлого материала										
Тип руслового процесса	Бесструктурный транспорт наносов	Осередковый	Побочный	Ограниченное меандрирование	Незавершенное меандрирование	Русловая многорукавность	Пойменная многорукавность	Свободное меандрирование	Свободное меандрирование в извилистом поясе меандрирования	
(номер)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

наносов. На этих участках реки возникают отдельные крупные гряды, формирующие простые одиночные разветвления русла. Побочному ТРП отвечают синусоидальные излучины меженного русла, появляющиеся в результате формирования последовательности взаимосвязанных перекошенных гряд. Врезание, сопровождающееся уменьшением уклона, не прекращается, пока поток имеет контакт с породами ложа, непосредственно или с помощью перемещаемого рыхлого материала.

Для **стадии неустойчивого динамического равновесия** характерно ограниченное и незавершенное меандрирование. При переходе от врезания к равновесию преобладают горизонтальные смещения водных потоков, что ведет к расширению долины и уменьшению уклона. При этом отрицательный баланс рыхлого материала относительно резко сменяется положительным, формируются аллювий нормальной мощности и пойма также "нормальной" ширины, т.е. переход русловых процессов на уровень макроформ. Далее вертикальные деформации развиваются в пределах аллювиальной толщи. Русловые процессы идут по типу ограниченного меандрирования, при котором плановое смещение излучин ограничено склонами долины или уступами речных террас и имеет характер параллельного сползания. К этому же типу отнесены и вынужденные излучины.

Дальнейшее развитие приводит к неустойчивому динамическому равновесию. Неустойчивым оно является в результате большого объема обменных масс аллювия и "импульсного" характера его транспорта, когда периоды длительного накопления перемежаются интенсивным выносом. При незавершенном меандрировании формируются прорванные излучины. Они характеризуются наличием спрямляющих проток, которые являются следствием линейной эрозии высокой поймы при больших паводках.

Для **стадии накопления** руслового аллювия характерны русловая и пойменная многорукавность в условиях перегрузки потока наносами, когда формы русла определяются перераспределением стока воды и наносов между рукавами, их образованием и исчезновением. Русловая многорукавность характеризуется наличием сложных сопряженных разветвлений русла. При пойменной многорукавности развиваются длинные извилистые рукава на пойме. Переход от аккумуляции к равновесию сопровождается превращением разветвленного русла в единое с большей транспортирующей способностью. При этом баланс рыхлого материала временно становится отрицательным [16]. Лишь после некоторого углубления дна потока наступает устойчивое динамическое равновесие при малых объемах обменных масс.

Для **стадии устойчивого динамического равновесия** характерно развитие русловых процессов по типу свободного меандрирования, а также в извилистом поясе меандрирования. Свободное меандрирование проявляется в формировании сегментных и петлеобразных излучин, развитых в широких долинах при отсутствии ограничений на плановые перемещения русла. Свободное меандрирование русла малого радиуса кривизны с локальными разветвлениями в извилистом поясе меандрирования характерно для малых и средних равнинных рек. Этот последний тип русловых процессов развивается на уровне макроформ различных порядков при редукции мезоформ.

Таким образом, и при врезании, и при накоплении аллювия саморазвитие системы "водный поток – русло" приводит ее к состоянию динамического равновесия, неустойчивому в первом случае и устойчивому во втором. Неустойчивое равновесие при больших объемах обменных масс сменяется накоплением, устойчивое равновесие при прогрессирующем снижении объемов обменных масс приводит к редукции русловых процессов, выраженной дефицитом аллювия русловой фации и слабым развитием или отсутствием мезоформ.

Изменение транспортирующей способности потока в рамках данной последователь-

Рис. а

Баланс рыхлого материала и типы русловых процессов

а – инвариантно-генетическая последовательность типов русловых процессов рек горных стран муссонной зоны

ности не является монотонным. Ее рост происходит лишь с 1-го примерно до 5-го ТРП: распространенных в пределах области формирования водных ресурсов (см. ниже), далее для широкопойменных ТРП она скорее снижается, особенно по удельной величине. Однако крупность перемещаемых частиц при этом непрерывно уменьшается на несколько порядков. Следовательно, классификация отражает последовательное увеличение относительной подвижности аллювия, определяемой соотношением живой силы потока и гидравлической крупности частиц.

Основы прогноза антропогенной нарушенности русловых процессов

Описанная инвариантно-генетическая последовательность рассматривается как наиболее общая модель развития системы "водный поток – русло" в условиях горных стран зоны муссонного климата. Любую реально наблюдаемую последовательность ТРП можно рассматривать как конкретную реализацию ИГП системы в определенных условиях среды. Наиболее эффективный способ описания этих условий – ландшафтно-гидрологическое районирование, выполненное авторами на примере Приморья в двух пространственных уровнях – топологическом и региональном на основе сочетания ландшафтного и структурного принципов [2].

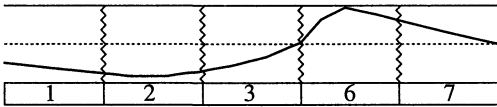
Региональные области формирования, транзита и концентрации водных ресурсов при этом выделялись таким образом, чтобы они охватывали преимущественно ландшафты соответствующего типа (стокоформирующие, транзитные, аккумулярующие); их границы проходили по основным водораздельным хребтам; структура речной сети "образующих" рек (текущих от регионального водораздела до регионального тальвега вкрест простираения макроморфоструктур) находилась в общем соответствии с выделенными областями. Установлены типичные парагенетические сочетания ТРП (рис. б), дифференцированные по размерам рек, ландшафтно-гидрологическим областям и макросклонам Сихотэ-Алиньского мегасвода.

Отклонения от этих сочетаний можно рассматривать как локальные нарушения, обусловленные геологическими или антропогенными факторами. Если содержательный анализ покажет, что нарушение является следствием хозяйственной деятельности, то ему может быть дана комплексная оценка на основе описанной ниже системы критериев. При этом хозяйственные объекты должны классифицироваться в том числе по расположению – в зависимости от зоны риска.

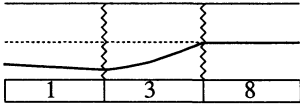
Понятие зоны риска является ключевым в авторской концепции оценки риска затопления и развития водно-эрозионных процессов при наводнениях и соответствует наиболее крупным подразделениям затапливаемой территории, выделяемым по качественным основаниям при районировании в пределах отдельного участка речной долины [3]. Всего выделяется 4 зоны – низкого, среднего, высокого риска и постоянной опасности. Зона высокого риска охватывает прирусловые участки высокой поймы, в пределах которых развиваются плановые деформации русла и активные поймообразующие процессы. Здесь в отличие от зоны среднего риска локальные защитные мероприятия ненадежны без регулирования русла и/или стока. Зона постоянной опасности включает русло и низкую пойму.

В данном случае мы рассматриваем хозяйственное освоение пойм, связанное с массовым строительством инженерных сооружений (дороги и мосты, обвалование, жилая и промышленная застройка и т.п.). Такое освоение является фактором стеснения потока, который может оцениваться по аналогии с изменением условий развития поймообразующих процессов в сторону ограничения [21]. Следовательно, существенное воздействие на русловые процессы в результате освоения долины должно проявляться в смене ТРП на предыдущий по ИГП (рис. а), т.е. в переходе на более "ранние" этапы развития системы, причем тем более ранние, чем интенсивнее воздействие.

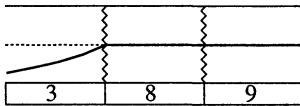
Местные реки в области формирования водных ресурсов



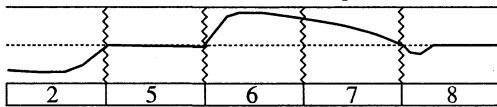
Местные реки в области транзита водных ресурсов



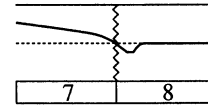
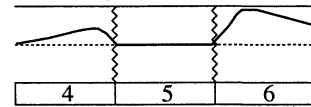
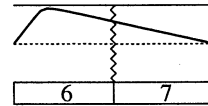
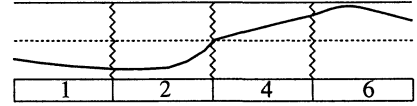
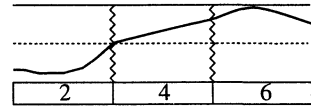
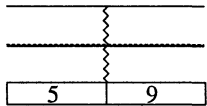
Местные реки в области концентрации водных ресурсов



Зональные реки в области транзита водных ресурсов



Зональные реки в области концентрации водных ресурсов



Баланс рыхлого материала и типы русловых процессов

б – характерные парагенетические сочетания типов русловых процессов в Приморье (области формирования, транзита и концентрации водных ресурсов, местные и зональные реки – с площадями водосбора менее 10 000 км², текущие в пределах одной или нескольких областей соответственно)

ИГП системы "водный поток – русло" позволяет сформулировать критерии четырех степеней антропогенной нарушенности русловых процессов на участке: 1 – изменения отдельных элементов руслового и пойменного рельефа без смены ТРП; 2 – изменения, приведшие к смене ТРП, но без смены стадии развития; 3 – изменения, приведшие к смене стадии развития, но без смены структурного уровня русловых процессов; 4 – изменения, приведшие к смене структурного уровня. В общем смысле 1-я степень может считаться безразличной, 2-я – приемлемой, 3-я – нежелательной и 4-я – недопустимой.

Можно утверждать по определению, что любое освоение в пределах зоны среднего риска приведет к изменениям только 1-й степени, т.е. к вариациям в пределах ТРП. Стеснение зоны высокого риска в зависимости от его величины и особенностей гидрологического режима ведет к нарушениям 1–4-й степеней, 5-й степенью нарушения может считаться ликвидация русловых процессов как явления, что переводит проблему в иную логическую и содержательную плоскость.

При этом важное значение имеет устойчивость речных русел, которая оценивается как количественными характеристиками скорости русловых деформаций, так и качественными описаниями, опирающимися на зависимость формы русла от степени его подвижности. Низкая устойчивость проявляется делением русла на рукава и отсутствием типичных излучин [19]. С этой точки зрения, наиболее устойчивы русла, процесс в которых протекает на уровне мезоформ (ТРП 1, 2, 3). Далее устойчивость понижается в последовательности ТРП 4–5–6, затем растет в последовательности ТРП 7–8 и, наконец, русло снова становится весьма устойчивым при ТРП 9, развивающимся на уровне макроформ высших порядков при редукции мезоформ. Если обратиться к ба-

Оценка нарушенности русловых процессов при антропогенных сменах их типов

ТРП исходный	Условия развития поймообразующих процессов	Устойчивость русла	Оценка степени нарушенности русловых процессов											
			ТРП в результате антропогенного воздействия											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	Без поймы	Устойчивые	1											
2	Ограниченные		2	1										
3			2	2	1									
4	Литологически ограниченные	Слабоустойчивые	4	4	4	1								
5			4	4	4	2	1							
6		Неустойчивые	4	4	4	3	3	1						
7	Свободные	Относительно устойчивые	4	4	4	3	3	2	1					
8			4	4	4	3	3	3	3	1				
9		Устойчивые	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	

лансовой характеристике, то увидим, что устойчивостью отличаются русла с отрицательным балансом либо с равновесным, но очень малым по абсолютной величине обменных масс. При равновесии с большим объемом обменных масс русло слабоустойчивое, а максимальная неустойчивость наблюдается в активной фазе накопления аллювия.

Изложенный анализ тенденций изменения русловых процессов приведен в таблице. Несмотря на качественный характер таблицы, она позволяет сделать некоторые содержательные выводы. Сразу видно, что при стеснении пойм на стадии врезания (ТРП 1, 2, 3) возможные изменения остаются приемлемыми, совершаясь без смены стадии и структурного уровня развития русловых процессов. Напротив, существенные изменения на начальном этапе стадии неустойчивого равновесия (ТРП 4) сразу приводят к смене и стадии, и структурного уровня, т.е. недопустимы. Наихудшим сочетанием устойчивости русла и степени нарушенности при возможных переходах отличается ТРП 6.

Заметим, что в рамках данного анализа все переходы считаются одинаково возможными, хотя априори ясно, и натурные данные это подтверждают, что существуют наиболее вероятные переходы для каждого ТРП. Так, например, для ТРП 7 наиболее вероятны переходы к ТРП 6 или 4; для ТРП 8 наиболее вероятен переход к ТРП 5. Стеснение русла с ТРП 6, где русловые процессы характеризуются большой энергией и максимальной неустойчивостью русла в плане, заканчивается обычно не сменой ТРП, а разрушением инженерных сооружений. Напротив, ТРП 9 отличается исключительной устойчивостью по отношению к стеснению поймы и практически может измениться лишь в результате канализации русла. При этом образуется нечто вроде ТРП 1 характерного "антропогенного" облика.

Обоснование таких закономерностей, а также решение вопроса о скоростях смен ТРП составляют основное содержание собственно экологического прогноза динамики русловых процессов. Это возможно путем сочетания региональных обобщений данных о руслоформирующей деятельности рек и исследований на ключевых участках с различной историей хозяйственного освоения.

1. Карасев М.С., Гарцман Б.И. Морфология русел как индикатор гидрологического режима речных долин // Гидрология и русловые процессы. М.: 1998. С. 183–195.
2. Карасев М.С., Гарцман Б.И., Тащи С.М. Пространственно-временные закономерности руслового морфогенеза горных стран муссонной зоны // География и природные ресурсы. 2000. № 1. С. 106–116.
3. Гарцман Б.И., Карасев М.С., Степаненко Л.А. Картографирование риска затопления и развития водноэрозийных процессов в долинах рек горных стран зоны муссонного климата: методические и прикладные аспекты // Водные ресурсы. 2000. № 1. С. 13–20.
4. Ландшафтно-гидрологический анализ территории / Антипов А.Н., Корытный Л.М. Новосибирск: Наука, Сиб. отд.-ние. 1992. 208 с.
5. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
6. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
7. Великанов М.А. Русловой процесс (основы теории). М.: Физматгиз, 1958. 395 с.
8. Чалов Р.С. Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел // Геоморфология. 1996. № 1. С. 26–36.
9. Сочава В.Б. Географические прогнозы // Теория и методы прогноза изменений географической среды. Иркутск: 1973. С. 7–11.
10. Гарцман И.Н. Некоторые проблемы системного подхода в гидрометеорологии // Тр. ДВНИГМИ. 1976. Вып. 51. С. 3–47.
11. Гарцман И.Н. Системные аспекты моделирования в гидрологии // Тр. ДВНИГМИ. 1977. Вып. 63. С. 3–84.
12. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Сущенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
13. Знаменская Н.С. Системная методология как основа изучения руслового процесса // Динамика и термика рек и водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 171–194.
14. Знаменская Н.С. Гидравлическое моделирование русловых процессов. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 240 с.
15. Кондратьев А.Н. Объединение альтернативных гипотез на формирование русел // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. М.: 1999. С. 312–315.
16. Карташов И.П. Основные закономерности геологической деятельности рек горных стран. М.: Наука, 1972. 184 с.
17. Ламакин В.В. О динамической классификации речных отложений // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1950. Нов. сер. Т. III(IX). С. 161–168.
18. Кондратьев А.Н. Соотношение транспортирующей способности потока и стока наносов как условие формирования русел рек разных типов // Геоморфология. 1999. № 3. С. 14–18.
19. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
20. Короткий А.М. Палеогеоморфологический анализ осадков и рельефа горных стран (на примере Дальнего Востока). М.: Наука, 1983. 244 с.
21. Чернов А.В. Геоморфология пойм равнинных рек. М.: Изд-во МГУ, 1983. 198 с.

ТИГ ДВО РАН

Поступила в редакцию
29.12.2000

PRINCIPLES OF REGIONAL ANALYSIS OF CHANNEL PROCESSES IN THE SMALL AND MIDDLE-SIZE RIVERS AND THEIR MAN-INDUCED DYNAMICS

B.I. GARTSMAN, M.S. KARASEV

S u m m a r y

The application of system methodology to channel process classification is discussed. A regional example of classification is given, based on the loose rock balance changes, which occur during self-development of the flow-channel system in the monsoon mountains. Presence, character and degree of man induced disturbances of the channel processes may be analyzed on the basis of methodic described. The criteria of such disturbances are applicable to ecological prognosis.