

А.В. Чернов

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПОЙМЕННОГО И РУСЛОВОГО ПОТОКОВ**

A.V. Chernov

**MORPHOLOGICAL CONSEQUENCES OF INTERACTION
BETWEEN CHANNEL AND FLOODPLAIN FLOWS**

В статье раскрывается вклад Н.Б. Барышникова в решение задач, связанных с речными поймами – их функционированием, влиянием, использованием. В частности, он внес большой вклад в гидрологию пойм; им разработаны схемы взаимодействия пойменного и руслового потоков, выявлена роль потоков половодья в формировании рельефа пойм и обратное влияние этих потоков на особенности руслового потока и формирования руслового рельефа.

В статье также рассматриваются морфологические проявления типов взаимодействия пойменного и руслового потоков в различные фазы затопления поймы, выделенные в 1955 г. Н.И. Маккавеевым. Подчеркивается, что характер этого взаимодействия в фазу максимального затопления поймы различен на участках русла разной конфигурации – в вершинах излучин, на их крыльях и т.п.

Выявлены особенности расположения пойменных зон (прирусловой, центральной, притеррасной) на пойменных массивах разного типа.

The paper describes a contribution made by N.B. Baryshnikov into the present state of knowledge of river floodplains, their functioning, influence and management. In particular, his greatest contribution has been that to studies of floodplain hydrology. N.B. Baryshnikov proposed models of interaction between floodplain and channel flows, analyzed the role of high water stage flows in formation of floodplain topography as well as an opposite influence of such flows onto channel flow and evolution of channel morphology.

The paper also considers morphological consequences of various types of interactions between floodplain and channel flows at different stages of floodplain inundation as described by N.I. Makkaveev (1955). The essential point is that the character of such interaction at maximum water level stage differs between channel sections of different configuration (meander apexes, limbs, etc.).

The paper also discusses specifics of location of typical floodplain zones (near-channel, central, near-terrace) within floodplain segments of different morphological types.

Проблемы взаимоотношений речных русел и пойм в различные фазы гидрологического режима всегда были актуальны при рассмотрении возможностей строительства на поймах и использования их в качестве селитебных площадей и сельхозугодий. Особенно остро эти проблемы проявились в последние годы, когда усилившаяся неравномерность внутригодового распределения стока привела к росту повторяемости высоких половодий и паводков, затопляющих при этом давно освоенные участки пойм.

Большой вклад в изучение гидрологии поймы внес Н.Б. Барышников: им обосновано выделение геосистемы «бассейн – речной поток – русло» и разработана концепция взаимодействия русловых и пойменных потоков в рамках подсистемы «русло-пойма» [Барышников, 1984, 1999, 2003]. В частности, Н.Б. Барышников рассмотрел 5 случаев этого взаимодействия: их параллельное движение, расхождение, схождение, взаимное пересечение и сложное взаимодействие, изменяющееся при разных уровнях воды.

Различные виды взаимодействия руслового и пойменного потоков во время затопления поймы отражаются на пропускной способности «большого русла» (т.е. русла с поймой), на направлении пойменных и русловых потоков, на характере петли в верхней части связи $Q = f(H)$. Вместе с тем они находят отражение и в особенностях формирования пойменного и руслового рельефа, а следовательно, и в морфологическом облике русел и пойм.

Роль потока половодья в формировании рельефа речных пойм весьма высока. Пойменный наилок, отлагающийся на поверхности поймы во время ее нахождения под водой, образует разнообразные формы рельефа, которые, в отличие от первичных, возникших при зарастании в русле побочней и осередков, можно назвать половодными [Чернов, 1983].

Половодный пойменный рельеф является преимущественно аккумулятивным. К нему относятся разнообразные наложенные прирусловые валы, вытянутые вдоль берегов современного русла и его стариц, и проток, языки песка и мелкой гальки, затянутые в глубь поймы и маркирующие места особо активного перелива воды из русла на пойму. Эрозионная деятельность потока половодья на пойме, покрытой растительностью, минимальна из-за тормозящего эффекта, создаваемого этой растительностью. К половодному рельефу можно отнести и рельеф, созданный льдом: различного рода высыпки крупного материала, принесенного льдинами, и рытвины и борозды, выпаханные ими в пойменной поверхности.

Формирование половодного рельефа определяется условиями затопления пойменной поверхности: длительностью, глубиной и частотой затопления, а также рисунком пойменного рельефа, удалением от русла и характером взаимодействия пойменного и руслового потоков в разные фазы гидрологического режима [Чернов, 1988]. Применительно к процессу затопления поймы Н.И. Маккавеев [1955] выделили 5 фаз гидрологического режима: снежницу (талый снег на пойме), подъём уровней воды и затопление пойменного массива, транзитный поток через пойму, слив воды с поймы на спаде половодья и, наконец, межень, когда полой воды на пойме нет и поток лишь размывает пойменные берега. Безусловно, затопление поймы, привнос пойменного наилка, взаимодействие руслового и пойменного потоков и формирование половодного рельефа происходит только во 2-ю, 3-ю и 4-ю фазы режима.

Особенности затопления поймы и формирование половодного рельефа рассматриваются обычно на примере «пойменного массива» – участка поймы,

характеризующегося однородными и взаимосвязанными условиями затопления, прохождения транзитного потока и слива воды обратно в русло [Попов, 1969]. Простейшими пойменными массивами являются на меандрирующей реке пойменный сегмент, ограниченный с трех сторон руслом, а с четвертой – незатопляемым уступом, а на разветвленной – крупный, но простой по рельефу пойменный остров. Так как условия осаждения наилка и образования полководных форм пойменного рельефа зависят от удаления от современного русла, то по этому признаку, темпам осадконакопления, крупности выпадающих в осадок наносов, а следовательно, по морфологии полководного рельефа и ландшафтам на пойменных массивах традиционно выделяют три пойменные зоны: прирусловую, центральную и притеррасную (тыловую). Очевидно, что взаимодействие между русловым и пойменным потоками осуществляется в основном в пределах прирусловой зоны; в то же время полководный рельеф формируется на всей пойме, но в центральной и притеррасной зонах – только пойменным потоком и потоками, занимающими русла пойменных проток, заходящих далеко в глубь поймы.

В начале фазы подъема половодья затопление одновозрастных пойменных массивов происходит снизу, так как водой покрываются самые низкие части поймы, открывающиеся к руслу в низовых частях пойменных массивов. При этом на пойме возникают противотечения; скорости потока в них, как правило, малы (0,02 – 0,06 м/с), однако, по свидетельству Н.И. Маккавеева, иногда они бывают достаточными для срыва с якорей судов, отстаивающихся зимой в затонах за пойменными массивами. В системе взглядов Н.Б. Барышникова начало затопления пойменных массивов снизу может соответствовать разновидности расхождения потоков, так как часть руслового потока замедляет свое движение, что вызывает в оставшейся части кинематический эффект, и отвлекается на пойму, меняя при этом направление. На русловом рельефе подобное поведение потока оказывает незначительное влияние, вызывая возможное обмеление русла выше мест оттока; на поймах в низовых частях массивов могут возникать аккумулятивные песчаные валы, наложенные на формы первичного рельефа. Вместе с льдинами на пойму может быть занесен также крупный русловый или склоновый материал, который потом остается на ней в виде высыпок – небольших курганчиков.

Затем, на стадии подъема половодья, начинается осуществляться перелив воды через верхнюю бровку пойменного массива и противотечения подавляются прямым потоком воды. Часто прямой поток проникает из русла на пойму через понижения (ложбины) в прирусловой части поймы, названные И.В. Поповым «прорвами». Скорости потока в таких понижениях достигают 1 – 1,5 м/с [Попов, 1970]. При затоплении поймы сверху происходит прямое расхождение руслового и пойменного потоков (II тип их взаимодействия). В эту фазу в руслах ниже по течению мест оттока воды на пойму может происходить обмеление гряд перекатов, вызванное снижением удельных форми-

рующих расходов воды. На пойме прямое расхождение руслового и пойменного потоков сопровождается возникновением поперечных уклонов водной поверхности, направленных по нормали от русла вглубь пойменных массивов. На поверхности поймы начинают образовываться аккумулятивные формы пологоводного рельефа: языки песка или мелкой гальки, проникающие в глубь поймы через упомянутые понижения и направленные по уклону от прирусловой части поймы к притеррасной. Благодаря высоким скоростям течения потоков в этих понижениях при встрече с препятствиями (одинокими деревьями, строениями, крупными гривами) могут возникать мощные вихри с вертикальными осями вращения – водовороты, которые высверливают на поверхности округлые воронки диаметром до 10 м и глубиной до 3 м – эрозионные котлы.

Большая часть форм пологоводного рельефа образуется на пойме в третью – максимальную фазу половодья, когда по всему днищу долины устанавливается транзитный поток; линии его тока зависят от первичного рельефа поймы, но при глубоком затоплении его влияние снижается. В эту фазу проявляются все виды взаимодействия руслового и пойменного потоков, причем места их проявления определяются морфологией русла и рисунком пойменных массивов. На меандрирующих широкопойменных реках в верхних крыльях излучин через их выпуклые берега осуществляется перелив потока на пойму: здесь преобладает расхождение руслового и пойменного потоков по II типу, предложенному Н.Б. Барышниковым. Это отражается в рельефе поймы в виде образования языков песка и высыпок мелкой гальки в районе перелива, привнесенной сюда потоком, повышенной опесчаненности слагающих пойму грунтов, а на полугорных реках – накоплением гальки на поверхности поймы.

В русле ниже оттока воды на пойму может происходить аккумуляция наносов, но следует иметь в виду, что в этом же крыле излучины, несколько ниже по течению, происходит слив в русло воды с вышележащего пойменного массива противоположного берега. Этот слив компенсирует отток воды из русла, поэтому снижения удельных расходов воды и аккумуляции наносов в местах оттока – притока воды может и не быть. Тем самым здесь устанавливается IV тип взаимодействия потоков, который можно трактовать как взаимное их пересечение. При высоких половодьях пойменный поток, ориентированный вниз по оси долины по общему ее уклону, может пересекать русло, не меняя направления. В этом случае взаимодействие потоков приобретает еще более сложный характер и соответствует скорее V типу. Русловой поток, наиболее насыщенный взвешенными наносами и перемещающий влекомые, испытывает торможение от поверхностного пойменного, что вызывает аккумуляцию наносов на дне. Образование перекатов на перегибах между излучинами во многом вызвано пересечением пойменного и руслового потоков в транзитную фазу режима.

В вершинах излучин у выпуклых и вогнутых берегов наиболее типичным является субпараллельное течение пойменных и русловых потоков (I тип

взаимодействия); при этом на поверхности поймы формируются вытянутые вдоль берега песчаные наложенные прирусловые валы. Лучшее всего они заметны на подмываемых вогнутых берегах излучин, где наиболее сильна контрастность между глубоким руслом и высокой поймой, а источник отлагаемого материала – пойменные яры – находится здесь же.

В пределах центральной и притеррасной поймы транзитный поток в естественных условиях не оказывает заметного морфологического воздействия на пойму. Поперечные уклоны снижаются, но продолжают обеспечивать отклонение пойменного потока в сторону от русла к тыловому шву поймы [Гординов, 1961]. Скорости транзитного потока на пойме невысоки – от 0,1 м/с в зоне контакта руслового потока с поймой до 0,3 – 0,5 м/с в центральной ее части [Барышников, 1984]. Поэтому здесь происходит лишь плащеобразное (более или менее равномерное) осаждение тонких фракций взвешенного аллювия, которые при уплотнении становятся супесями и суглинками. В старичных понижениях могут отлагаться взвешенные наносы, отчего их днища и берега опесчаниваются; возле препятствий возникают эрозионные котлы.

Вместе с тем нарушение дернины на пойме при ее распашке или строительстве может привести к существенным деформациям ее поверхности, вплоть до развития пойменных оврагов и смыва всей почвы. Выявлена зависимость между условиями прохождения руслоформирующих расходов воды (Q_{ϕ}) (выше или ниже пойменных бровок), составом пойменной фации аллювия и устойчивостью поймы к размыву (см. таблицу).

Устойчивость к размыву речных пойм [Злотина, 1996]

Литологическое строение пойменной фации	Условия прохождения руслоформирующих расходов воды (Q_{ϕ})						ниже пойменных бровок
	выше пойменных бровок						
	обеспеченность Q_{ϕ}	длительность затопления, дни	обеспеченность Q_{ϕ}	длительность затопления, дни	обеспеченность Q_{ϕ}	длительность затопления, дни	
	< 0,5	< 1	0,5 – 1,0	1 – 10	> 1	> 10	
Суглинки тяжелые	высокая		высокая		средняя		высокая
Суглинки легкие, супеси	средняя		низкая		очень низкая		высокая

На реках, где Q_{ϕ} проходят при затопленной пойме, а строение пойменной фации аллювия преимущественно супесчаное, устойчивость поверхности к размыву очень мала. Поэтому в случае ее распашки во время первого же высокого половодья пойменную почву, не защищенную дерниной, смывает поток половодья, а межгривные понижения и ложбины, в которых концентрируется сток, могут превратиться в эрозионные рытвины. Более устойчивы при про-

хождении Q_f выше пойменных бровок поймы, сложенные суглинистым материалом; однако, вероятность смыва почв при затоплении здесь сохраняется, поэтому распашка необвалованных пойм всегда таит в себе опасность разрушения пойменной поверхности. На тех реках, на которых руслоформирующие расходы проходят до выхода на пойму, т.е. в пойменных бровках, распашка высоких пойм возможна. В этих случаях скорость потока, затапливающего пойму, невелика, он не в состоянии размыть пашню и только аккумулирует на ней ил [Беркович, 2000].

В нижних крыльях излучин происходит слив воды с пойменных массивов, что соответствует схождению пойменного и руслового потоков (III тип взаимодействия). Морфологический эффект слива на заросшей пойме не выражен, так как дернина размывается очень плохо, а сам пойменный поток перед слиянием с русловым замедляет свою и без того небольшую скорость. В руслах, расположенных среди широких двусторонних пойм, слив потока также не оставляет заметных следов, и, как уже говорилось, он компенсируется оттоком воды на нижележащий пойменный массив. При выклинивании или сужении поймы, т.е. в отсутствии оттока воды из русла, морфологический эффект слива проявляется в руслах значительно ярче. Он выражается в накоплении наносов в русле выше места слияния из-за торможения руслового потока пойменным и, наоборот, в образовании глубоких плесов ниже места слияния, где удельные расходы воды резко возрастают, а наносов – нет, так как с поймы поступает осветленный поток. На Нижнем Вилое при средних глубинах около 3 м глубина плесов ниже слияния потоков может достигать 6 – 9 м [Белый, 1983].

На разветвленных руслах и ложбинно-островной пойме в островной ее части места оттока воды приурочены к оголовкам островов. Субпараллельный контакт пойменного и руслового потоков типичен для рукавов и островов в их средней части, слияние двух потоков осуществляется ниже ухвостий островов. Формы пологоводного рельефа на пойменных островах разветвленных рек выражены ярче, чем на пойменных массивах меандрирующих рек (исключая места оттока воды), так как эти острова являются препятствием для транзитного потока половодья, находясь на пути одной из его динамических осей. На береговой пойме отток воды, ее слив и субпараллельное положение потоков, а следовательно, и особенности размещения и размеры форм пологоводного рельефа зависят от местных особенностей конфигурации русла и береговых пойменных массивов. В частности, наложенные прирусловые валы на таких поймах имеют значительно большее протяжение, чем на изгибах берегов меандрирующих рек.

Пересечение транзитного и руслового потоков на разветвленных реках с ложбинно-островными поймами (V тип взаимодействия) в условиях большого количества рукавов и протоков в русле и ложбин на пойме вызывает сложные переформирования в руслах: здесь часто возникают перекаты-россыпи, наряду с которыми тут же встречаются и переуглубленные участки русла, где концентрируется осветленный пойменный поток [Чернов, 1988].

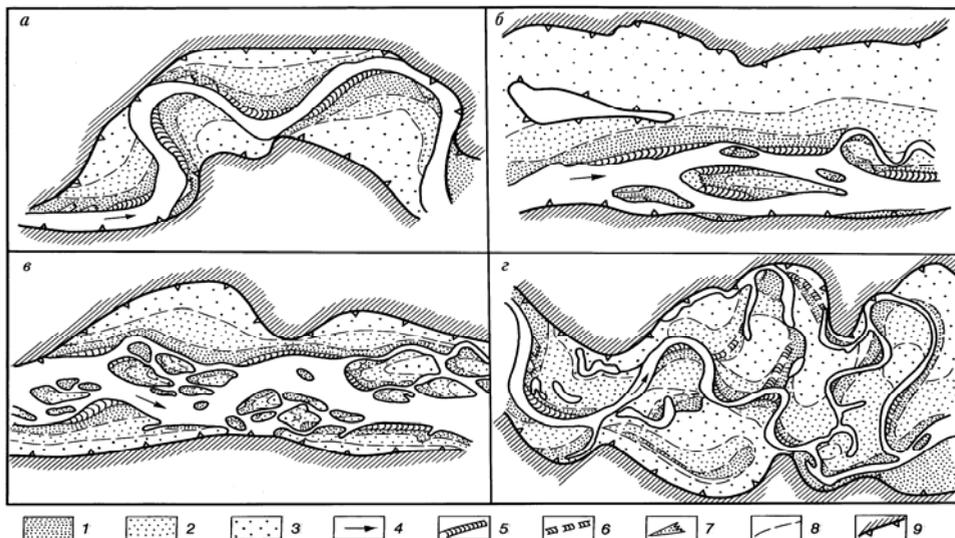
На спаде половодья (4-я фаза гидрологического режима поймы) резко сокращается переток воды через верховые части пойменных массивов. Это приводит к снижению скоростей потока в центральных и притеррасных пойменных зонах до 0,1 м/с и менее. В ухвостьях пойменных массивов наблюдается схождение пойменного и руслового потоков, отчего средние скорости течения в основном русле замедляются. На морфологию поймы слив с нее воды влияния практически не оказывает; в русле сохраняются тенденции, проявившиеся во время прохождения транзитного потока – аккумуляция выше места слива и углубление ниже него, но процессы эти постепенно ослабевают. В конечном итоге полая вода полностью сливается с пойменных массивов, причем вода, стекающая с центральной поймы, продолжает некоторое время заполнять отрицательные формы рельефа на притеррасной пойме.

Закономерное удаление пойменных зон от русла и последовательную смену зон от прирусловой к притеррасной можно наблюдать в основном на адаптированных руслах с узкой поймой, часто расположенной в шахматном порядке (см. рисунок, «а»). В процессе русловых деформаций пойменные массивы на таких руслах в основном смещаются вниз по течению без особого изменения своей формы, расположение пойменных зон здесь остается в целом «шахматным».

На других типах русел и пойм расположение пойменных зон, а следовательно, половодных форм рельефа разного облика и размеров, много сложнее, причем особенности их нахождения на пойме во многом определяются характером горизонтальных русловых деформаций и морфологическим типом поймы [Барышников, 2000]. Относительно прямолинейные русла (неразветвленные или с одиночными разветвлениями) сопровождаются односторонней поймой и соответственно устойчивой сменой пойменных зон по мере их удаления от русла (см. рисунок, «б»). На разветвленных реках с двухсторонней береговой поймой каждый остров представляет собой самостоятельный пойменный массив с характерным для него расположением прирусловой зоны в районе оголовка, центральной – в центре, а тыловой – ближе к ухвостью острова. На береговых массивах пойменные зоны последовательно сменяют друг друга и занимают относительно постоянное положение по отношению к руслу (см. рисунок, «в»).

Сегментно-гривистые и сегментно-островные поймы широкопойменных рек отличаются наибольшей сложностью и наименьшим постоянством в расположении пойменных зон и форм половодного рельефа. В пределах каждого развивающегося сегмента, представляющего простой пойменный массив, пойменные зоны расположены в соответствии со схемой: у русла прирусловая, затем центральная и притеррасная. Однако при миграциях русла по дну долины пойменные сегменты теряют с ним связь и целиком оказываются в центральных или притеррасных частях всей поймы. К руслу, в свою очередь, подходят и оказываются в зоне усиленной аккумуляции участки поймы, ранее находившиеся в центральной и притеррасной ее частях. Иными слова-

ми, расположение реликтовых элементов пологоводного рельефа на поймах, сопровождающих извилистые широкопойменные реки, не зависит от современного положения русла (см. рисунок, «з»).



Различное расположение пойменных зон относительно русла:

а – неизменное в шахматном порядке, *б* – неизменное одностороннее,

в – неизменное двухстороннее, *з* – меняющееся в ходе русловых деформаций.

Условные обозначения: пойменные зоны: 1 – прирусловая, 2 – центральная, 3 – притеррасная; 4 – русло и направление течения; наложенные прирусловые валы: 5 – современные, 6 – реликтовые, 7 – языки песка; 8 – границы зон, 9 – уступы надпойменных террас.

Таким образом, морфологическая интерпретация гидрологических положений Н.Б. Барышникова о различных видах взаимодействия русловых и пойменных потоков во время половодий и паводков, позволяет объяснить многие закономерности расположения пойменного рельефа и учитывать их при использовании пойменных ресурсов на тех или иных участках пойменных массивов и при выправлении русел. Например, прирусловые зоны в местах расхождения руслового и пойменного потоков возможно использовать в рекреационных целях или даже для организации локальных карьеров стройматериалов, но нельзя их распахивать (даже при прохождении Q_{ϕ} ниже пойменных бровок), а также нежелательно вести строительство. То же, но в меньшей степени, касается и прирусловых зон в местах субпараллельного расположения потоков. Притеррасные зоны являются непродуктивными в сельскохозяйственном отношении, но могут быть использованы как зоны отдыха после осушения заболоченных участков и благоустройства старичных озер.

В руслах, в местах пересечения пойменного и руслового потоков, особенно при сложной морфологии русла и поймы, возникают мелководные пе-

рекаты, препятствующие судоходству; наоборот, при трассировании судовых ходов, строительстве причалов и портов целесообразно использовать переуглубленные плесовые лоцины, возникшие ниже схождения русловых и пойменных потоков возле ухвостий пойменных массивов.

Литература

1. *Барышников Н.Б.* Морфология, гидрология и динамика пойм. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.
2. *Барышников Н.Б.* Гидравлические сопротивления речных русел. – СПб: изд. РГГМУ, 2003.
3. *Барышников Н.Б., Злотина Л.В., Чернов А.В.* Гидравлика затопления пойм и пойменные ландшафты // XV Пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Волгоград-Москва: Перемена, 2000.
4. *Барышников Н.Б., Самусева Е.А.* Антропогенное воздействие на саморегулирующуюся систему «бассейн – речной поток – русло». – СПб.: изд. РГГМУ, 1999.
5. *Белый Б.В., Борсук О.А., Иванов В.В. и др.* Условия формирования, морфология, динамика и регулирование русла среднего и нижнего Вилюя // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 9. – М.: Изд-во МГУ, 1983.
6. *Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Экологическое русловедение. – М.: ГЕОС, 2000.
7. *Гордиков А.В., Россомахин М.В.* Поперечные уклоны водной поверхности затопленной поймы (на примере р. Иртыша) // Тр. ГГИ, 1961, вып. 88.
8. *Злотина Л.В., Иванов В.В.* Устойчивость пойм рек ЕТР к антропогенным нагрузкам / В сб.: Проблемы оценки экологической напряженности Европейской территории России: факторы, районирование, последствия. – М.: МГУ, 1996.
9. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. – М.: Изд-во АН СССР, 1955.
10. *Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. 2-е изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1969.
11. *Попов И.В., Гаврин Ю.С.* Применение аэрофотосъемки к оценке процессов затопления и опорожнения речных пойм и развития пойменных течений // Тр. ГГИ, 1970, вып. 183.
12. *Чернов А.В.* Геоморфология пойм равнинных рек. – М.: Изд-во МГУ, 1983.
13. *Чернов А.В.* Влияние пойм на развитие речных русел (на примере рек Ленского бассейна) // Геоморфология, 1988, № 4.