

16. Махцнов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Направленная аккумуляция наносов и морфология русла нижнего Амура // Геоморфология. 1994. № 3. С. 70–78.
17. Иванов В.В., Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Вертикальные русловые деформации на среднем Амуре // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2000. № 5. С. 32–38.
18. Бахтин Н.П. Некоторые данные о взвешенном стоке и эрозионной деятельности основных рек Красноярского края // Уч. зап. Красноярск. пед. ин-та. 1957. Т. 8. С. 127–133.
19. Гусаров А.В. Тенденции эрозии и стока взвешенных наносов в Азии во второй половине XX столетия // Геоморфология. 2002. № 4. С. 70–87.
20. Дарбутас А.А., Чалов Р.С. Вертикальные деформации русла Немана и влияние на них антропогенных факторов // Геоморфология. 1993. № 3. С. 49–58.
21. Белинович И.В., Вышлов К.П., Маккавеев Н.И. О влиянии снижения уровня Каспийского моря на судоходные условия в низовьях Волги и Урала // Русловые исследования для улучшения условий судоходства. М.: Речной транспорт, 1958. С. 24–28.
22. Алексеевский Н.И., Коротаев В.Н., Михайлов В.Н. Динамика морского края дельты Волги в русловый режим ее дельтовых водотоков при колебаниях уровня Каспийского моря // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1998. Вып. 11. С. 273–286.
23. Никольская В.В. Морфоскульптура бассейна Амура. М.: Наука, 1972. 296 с.
24. Li Guoying. Ponderation and Practice of the Jellov River Control. Jellov River Conservancy Press. 2003. 272 p.
25. Борсук О.А., Чалов Р.С. О врезании русла р. Лены // Изв. ВГО. 1973. Т. 105. № 5. С. 452–456.
26. Беркович К.М., Злотина Л.В., Турькин Л.А. Верхняя Ока: механические изменения и деформации русла // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ. 2000. Вып. 12. С. 118–129.
27. Беркович К.М. Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000. 332 с.

Московский государственный университет
 Географический факультет,
 Тонкийский университет (Китай, г. Шанхай)

Поступила в редакцию
 12.04.2005

GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF THE VERTICAL RIVER CHANNELS DEFORMATION IN THE EAST EUROPE AND ASIA

R.S. CHALOV, LYU SHUGUAN

Summary

Spatial regularities of long-term deep erosion and accumulation on the rivers of the East Europe and Asia are analyzed. In the intracontinental regions incision is predominant, its value depending on the velocity of the tectonic uplift. Accumulation appears on the rivers, which cross marginal and littoral lowlands, with its velocity increasing southwards up to enormous values according to the solid runoff growth and the velocity of river mouth prograding. Muddying is characteristic of little rivers of the steppe and south forest zones due to excess of soil erosion material.

УДК 551.4.436.13→556.51

© 2006 г. С.Р. ЧАЛОВ

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РУСЛОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ¹

Русловые разветвления являются одним из основных морфодинамических типов русел. Участки разветвлений занимают от 17 до 35% общей длины рек России [1]. Протяженность разветвленных русел составляет 30–35% от общей длины судоходных рек России, на реках Сибири и Дальнего Востока – 57–62% [2].

Русловые разветвления как геоморфологические проявления русловых процессов выполняют ряд гидрологических функций. Под последними понимается совокупность изменений величины и режима речного стока, гидрологических, экологических про-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 03-05-64306 и 03-05-64302).

цессов и водохозяйственных ситуаций в их пределах. Наличие разветвления означает уменьшение расхода воды Q_i в самом крупном рукаве по сравнению с водоносностью неразветвленного русла Q . В любом поперечном сечении участка реки с островами

суммарный расход воды $Q_0 = \sum_{i=1}^N Q_i$. При этом меняются гидравлические и морфоло-

гические характеристики потока и русла в рукавах разветвления. С рассредоточением стока воды связаны местные изменения транспортирующей способности потока $R_{тр}$ (в разные сезоны года). Новое сочетание гидравлических и морфометрических характеристик потока и русла является основной причиной трансформации стока наносов и растворенных веществ, тепла (за счет изменения содержания теплоты в рукавах), а также структуры водных биоценозов.

Определяющими являются особенности рассредоточения стока воды по рукавам разветвлений, которые связаны с их структурой. При изучении условий формирования разветвлений эффективно применять аппарат количественных критериев их структуры. Выявление роли внешних факторов в формировании структуры разветвлений – цель данной статьи. Для этого предложены и применены количественные показатели, характеризующие морфологию долины и русла, а также критерии подобия, описывающие структуру русловых разветвлений.

Изучение структуры и особенностей рассредоточения речного стока проведено для 65 разветвлений 16 рек России. В их число вошли разветвления больших равнинных рек с песчаными русловыми отложениями – Лена, Обь, Северная Двина, Томь, Выгегда, Чулым; больших и средних рек с галечно-валунными русловыми отложениями – Киренга, Бия, Катунь, Верхний Енисей, Сухона; малых горных и полугорных рек Камчатка – Ветвей, Левтыринываям, Янытайлыгинваям, Начилова; малой равнинной реки – Протва.

Геоморфологические критерии формирования разветвлений

Развитие русла во многом определяется морфологией долины и русла реки. Важнейшими характеристиками при этом являются ширина долины, ширина пояса руслоформирования и ширина русла. Однако критериальное соответствие этих геоморфологических характеристик разным типам русла до сих пор не найдено. В максимальной степени ему соответствует подход, примененный в ГГИ для характеристики типов руслового режима рек [3]. На основе оценки отношения между шириной пояса руслоформирования B_p , шириной русла (ширина водного зеркала) B и шириной долины B_d , были обоснованы граничные значения критериев, соответствующих переходу, в частности, от режима русловых переформирований, свойственных меандрирующим рекам и водотокам, разделенным на рукава. Для участков свободного меандрирования величина B_d/B составляет 18.3, величина B_p/B – 8.86, для участков с пойменной многорукавностью – соответственно 6.5 и 5.58.

Этот подход можно использовать и для оценки влияния морфологии долины и русла на возможность формирования различных типов русловых разветвлений. Отличия размеров пойменных и островных массивов в разветвлениях разного типа позволяют производить поиск общих и региональных критериев выделения многорукавности разного типа на основе анализа отношений B_d/B , B_p/B и B_d/B_p . По длине участков рек с развитой многорукавностью устанавливаются B_d , B_p и B в поперечных сечениях долины (рис. 1). На основе анализа космических снимков и очертаний русла выделялись участки русловой, пойменной и пойменно-русловой многорукавности. К последней отнесены участки рек, включающие в себя пойменную и русловую многорукавность. Для пойменно-русловых разветвлений отдельно оценивается суммарная ширина водного зеркала русловых проток B^* и ширина их пояса руслоформирования B_p^* (без

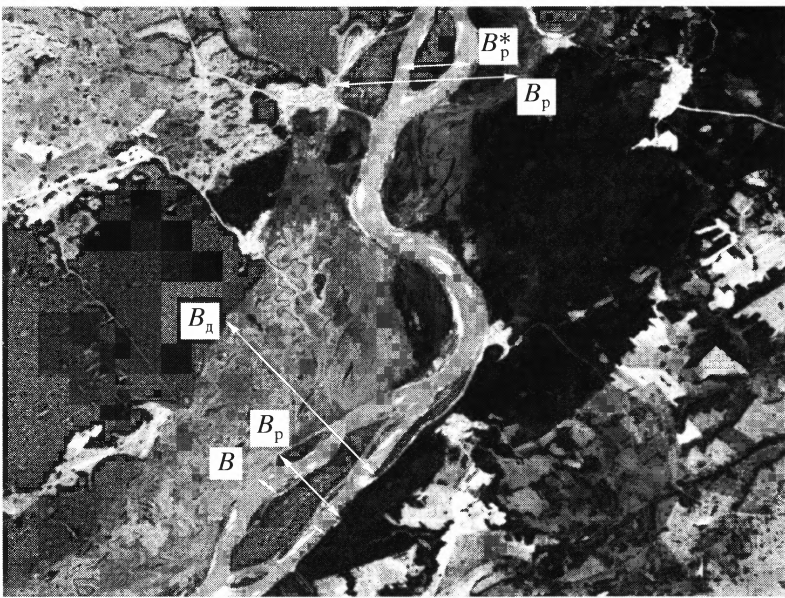


Рис. 1. Схема определения морфологических характеристик долины и русла на участке пойменно-руслового разветвления

Ширина: B_p – пояса руслоформирования, B_p^* – то же без учета пойменных проток, B – русла (водного зеркала), B_d – долины

учета пойменных проток) (рис. 1). В составе критериев B_d/B , B_p/B и B_d/B_p наиболее информативным является отношение B_p/B (B_p^*/B^*). В случае неразветвленного русла $B_p = B$ и $B_p/B = 1$. При делении потока на рукава $B_p/B > 1$.

Расседоточение потока в долинах рек прослеживается на разных пространственных уровнях. Разбиение меженного потока частицами русловых отложений можно считать первичным проявлением процессов расседоточения стока. Величина B_p/B в этом случае стремится к 1. При более высоких уровнях воды деление потока на отдельные струи связано с наличием в русле отдельных валунов, крупных обломков горных пород. Для таких “разветвлений” характерна сопоставимость глубины и ширины струй воды с диаметром русловых отложений. В этом случае $B_p/B \gg 1$. Они особенно характерны для врезанных порожиисто-водопадных русел, где $B_d/B_p = 1$.

Следующим пространственным уровнем расседоточения стока воды являются осередковые разветвления (осередковая многорукавность). Они возникают на реках самого разного размера и часто являются начальным этапом формирования разветвленного русла. Этот процесс ограничен временем сезонного существования осередков (до их затопления в период прохождения половодья и паводков). В последнем случае величина B_p/B уменьшается до 1. Наибольших значений величина B_p/B достигает на аллювиальных галечно-валунных полях рек предгорных районов – участках массовой аккумуляции транзитного материала при переходе реки из горной в равнинную области.

Максимальное поперечное и продольное расседоточение стока воды происходит на участках пойменно-русловых разветвлений. На многих крупных равнинных реках пойменно-русловые разветвления занимают десятки и даже сотни километров. К ним относятся разветвления, где размеры островов на порядки величин превышают ширину русла. На участке реки Лены ниже Табагинского мыса до начала левобережных кангаласских проток (порядок реки $N = 16.9$) (рис. 2) величина B_p/B характеризуется значениями от 1 (неразветвленное русло) до 4.1. На участках с пойменно-русловой

Ширина, м

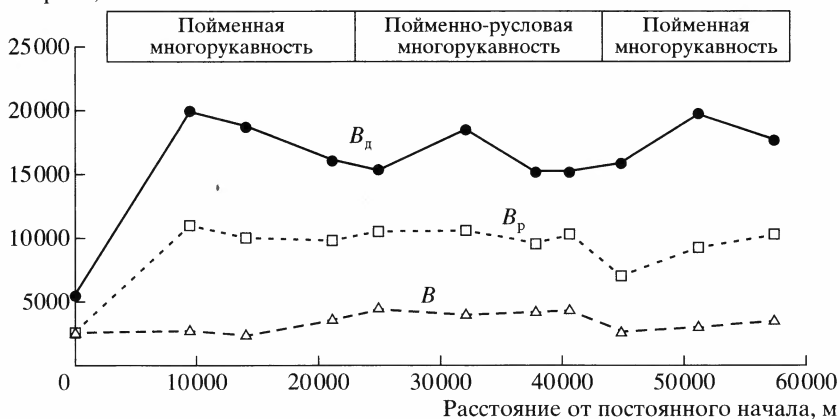


Рис. 2. Изменение морфологических характеристик долины и русла р. Лены на участке от Табагинского мыса до начала кангаласкских протоков

Ширина: B_p – пояса руслоформирования, B – русла (водного зеркала), B_d – долины

многорукавностью величина B_p/B изменяется от 2.1 до 2.4. Участкам с пойменной многорукавностью соответствуют значения B_p/B от 2.7 до 4. Таким образом, значение $B_p/B = 2.5$ является граничным при переходе от пойменно-русловых к пойменным разветвлениям на больших широкопойменных равнинных реках с песчаным составом отложений. Для пойменно-русловых разветвлений ширина водного зеркала B^* и ширина пояса руслоформирования B_p^* только для основного русла (без учета пойменных проток) позволяют установить диапазон изменений $B_p/B(B_p^*/B^*)$, характерных для русловой многорукавности. На участке Якутского разветвления B_p^*/B^* изменяется от 1.14 до 1.49. Таким образом, критерием выделения участков рек с русловой многорукавностью в условиях р. Лена является величина $B_p/B = 1.5-2$. В районе Якутского разветвления Лены наблюдается довольно синхронное изменение величин B_d , B_p и B . Сильнее всего изменяется ширина долины. На исследуемом участке наблюдается три последовательных расширения долины, в каждом из которых формируется особый тип разветвлений. Ширина водного зеркала максимальна на участке пойменно-руслового разветвления.

На участках средней Оби ($N = 15.5$) с русловой многорукавностью B_p/B изменяется от 1.56 до 2.62, на пойменно-русловых разветвлениях – от 4.2 до 7.42. В случае пойменной многорукавности величина B_p/B составила 9.63. Таким образом, переход от русловых к пойменно-русловым разветвлениям осуществляется при величинах $B_p/B = 3-4$, от пойменно-русловых к участкам с пойменной многорукавностью – при $B_p/B = 8-9$. Величина критериев свидетельствует об их увеличении по сравнению с Якутским разветвлением. Это может быть связано с разными условиями образования разветвлений. Для Оби характерны два руслоформирующих расхода – среднего и нижнего интервалов, а для Лены – верхнего и среднего интервалов. В результате на Лене образование пойменной многорукавности обусловлено прохождением руслоформирующего расхода воды при затопленной пойме, а на Оби ее появление нехарактерно и определяется местными факторами.

Меньшим по размеру рекам, находящимся в других геолого-геоморфологических условиях, присущи другие значения критерия B_p/B . Так, для Енисея в верхнем течении (участок реки от пос. Шушенское до Красноярского водохранилища) диапазон изменения B_p/B составляет 1.7–5.4. Величина критерия определяется типом разветвлений.

Для русловых разветвлений характерны минимальные значения B_p/B (1.7–3.4), для пойменно-русловых и пойменных – максимальные (4.4–4.7 и 3.5–5.4 соответственно). Таким образом, значение $B_p/B = 3.5$ является граничным для перехода от русловых разветвлений к участкам рек с пойменной многорукавностью. Это характерно для крупных рек ($N = 14.3$) с гравийно-галечным составом отложений, руслом, формирующимся в условиях литологического ограничения скорости деформаций.

Величина B_p/B контролирует и формирование разных типов русловых разветвлений. На изученном участке Оби минимальным значения $B_p/B = 1.56$ отмечены на участке простого одиночного разветвления. На участке сложных одиночных разветлений величина B_p/B изменяется от 1.7 до 2.3, на участке сопряженных разветлений – от 1.8 до 2.6.

Формирование структуры русловых разветвлений

Закономерности формирования разветвлений могут быть обнаружены и при изучении их структуры. Русловые разветвления разного типа отличаются по своей структуре. Возможность анализа этого процесса зависит от наличия способа формализации особенностей рассредоточения стока воды. В статье использованы специальные критерии [4]. Наличие объективных принципов выделения однотипных элементов структуры позволяет сопоставлять разветвления разных рек, а также и одной реки. В соответствии с ними каждый водоток в разветвлении характеризуется размером – условным порядком N_y , который рассчитывается на основе зависимостей вида $N_{yi} =$

$\frac{1}{b} \ln\left(\frac{1}{a} Q_i\right)$, где a и b – региональные коэффициенты [5], Q_i – среднегодовые расходы воды в рукавах. Эта методика оценки Q_i имеет ограничения, связанные с эмпирическим характером коэффициентов a и b , а также возможностью ее использования только для бассейнов рек, где они известны. Альтернативным является метод, основанный на дихотомической системе кодировки потоков и распространенный на участки русловых разветлений². Система кодировки потоков А. Шайдеггера предполагает определение порядков реки по уравнению

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

где P – мощность русловой сети, численно равная количеству водотоков первого порядка в бассейне реки. При слиянии двух рек мощность образующегося потока всегда равна сумме мощностей русловой сети сливающихся притоков:

$$P = P_1 + P_2. \quad (2)$$

В узлах разветвления русла происходит деление реки на рукава. Каждый рукав отличается по своим характеристикам от речного потока выше узла разветвления. Очевидно, что порядок рукава будет меньше, чем порядок водотока выше узла деления. Однако, вычислить мощность или порядок рукава напрямую невозможно. Данные величины можно определить обратным пересчетом через расходы воды рукавов. Полученные значения являются условным порядком N_y и условной мощностью P_y .

В узлах разветвления, также как и в узлах слияния, соблюдается принцип сохранения мощности потока. В частности, сумма мощностей всех рукавов $\sum P_{yi}$ должна быть равна мощности русловой сети реки до узла разветвления P_0 . Соотношение между порядком потока и мощностью подчиняется уравнению (1). Поэтому определение N_y базируется на зависимости расходов воды от N . Это соответствует гипотезе, что

$$Q = ae^{bN}. \quad (3)$$

² Метод разработан автором совместно с А.Г. Косицким.

Величина параметров a , b в общем случае неизвестна. Запишем уравнение (3) для каждого рукава и реки выше узла разветвления. Для одиночного разветвления справедлива система из трех уравнений:

$$Q_1 = ae^{bNy_1}, \quad (4)$$

$$Q_2 = ae^{bNy_2}, \quad (5)$$

$$Q_0 = ae^{bN_0}. \quad (6)$$

Очевидно также, что

$$P_0 = P_{y_1} + P_{y_2}, \quad (7)$$

$$Q_0 = Q_1 + Q_2, \quad (8)$$

где P_0 , N_0 , Q_0 – соответственно мощность русловой сети, порядок и расход воды реки выше узла разветвления. Уравнения (7), (8) преобразуются к виду:

$$\frac{P_{y_1}}{P_0} + \frac{P_{y_2}}{P_0} = 1 \quad (9)$$

$$\frac{Q_1}{Q_0} + \frac{Q_2}{Q_0} = 1. \quad (10)$$

Преобразуем уравнение (4), выразив N_1 через P_1 в соответствии с уравнением (1):

$$Q_1 = ae^{b(\log_2 P_{y_1} + 1)}. \quad (11)$$

Преобразование выражения (11) с помощью ряда математических операций:

$$Q_1 = ae^{b(\log_2 P_{y_1} + 1)} = ae^{b\left(\frac{\ln P_{y_1}}{\ln 2} + 1\right)} = ae^{b + \frac{b \ln P_{y_1}}{\ln 2}} = ae^b (e^{\ln P_{y_1}})^{\frac{b}{\ln 2}} = ae^b P_{y_1}^{\frac{b}{\ln 2}}$$

приводит к выводу, что

$$Q_1 = ae^b P_{y_1}^{\frac{b}{\ln 2}}. \quad (12)$$

Аналогично:

$$Q_2 = ae^b P_{y_2}^{\frac{b}{\ln 2}} \quad (13)$$

и

$$Q_0 = ae^b P_0^{\frac{b}{\ln 2}}. \quad (14)$$

Отношение расхода воды в рукаве к общему расходу реки

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{ae^b P_{y_1}^{\frac{b}{\ln 2}}}{ae^b P_0^{\frac{b}{\ln 2}}} = \left(\frac{P_{y_1}}{P_0}\right)^{\frac{b}{\ln 2}}. \quad (15)$$

После подстановки этого выражения и аналогичного уравнения для $\frac{Q_2}{Q_0}$ в уравнение (10) получаем

$$\left(\frac{P_{y1}}{P_0}\right)^{\frac{b}{\ln 2}} + \left(\frac{P_{y2}}{P_0}\right)^{\frac{b}{\ln 2}} = 1. \quad (16)$$

Сравнение выражения (16) и уравнения (9) дает

$$\frac{b}{\ln 2} = 1. \quad (17)$$

Следовательно, $b = \ln 2 \approx 0.69$. Аналогичная величина параметра b подтверждается и структурой зависимости расхода воды от порядков рек для разных районов России. Относительному постоянству параметра b соответствует величина коэффициента масштабного изменения расходов воды по длине речных систем $K = e^b = e^{0.69} = 2 [6]$.

Таким образом, с учетом уравнений (15) и (17) условную мощность рукава можно определить через отношение его расхода к расходу реки выше узла разветвления:

$$\frac{P_{y1}}{P_0} = \frac{Q_1}{Q_0}. \quad (18)$$

Значение P_0 определяется по числу водотоков первого порядка в бассейне данной реки. Измерения расходов воды по рукавам позволяют определить P_y для первого рукава с помощью уравнения (18). По величине P_y и уравнению (1) находится N_y для данного рукава. Аналогично определяются величины условных мощности и порядка второго рукава. Для определения порядка рукава необходимо знать порядок реки выше узла разветвления и распределение расходов воды по рукавам. Уравнение (18) справедливо для разветвлений с любым числом рукавов.

Сведения об условных порядках позволяют получить критерии подобия разветвлений, на основании которых можно анализировать процессы продольного рассредоточения стока воды. Один из них [4]

$$\Delta N1_k = N - N_{m,i}, \quad (19)$$

где N – порядок реки выше разветвления, а $N_{m,i}$ – минимальный условный порядок водотока, возникающего при последовательном делении русла на рукава. При определении $\Delta N1_k$ рукава, формирующиеся при коротком русловом делении потока и быстром объединении образовавшихся водотоков, а также небольшие поперечные протоки не учитываются. Поскольку реки различаются по своим размерам, то для сравнения типов дивергенции (рассредоточения) стока при $N \neq const$ необходим другой критерий подобия. Для отражения меры идентичности процессов рассредоточения стока в разных звеньях речной сети можно нормировать критерий $\Delta N1_k$

$$\Delta N2_k = \Delta N1_k / N, \quad (20)$$

где k – индекс руслового разветвления одной реки (или разветвлений разных рек). Подобными будут разветвления, в которых, например, $N = 3$ ($N_{m,i} = 1$) и $N = 15$ ($N_{m,i} = 5$), т.к. в этих случаях $\Delta N2_k = 0.667 = const$.

Важнейшими количественными характеристиками русловых разветвлений можно считать также величины K_a – число рукавов в разветвлении, n_0 – число островов, K_d – число узлов и Y – уровней деления русла на рукава (рис. 3). Чтобы исключить несоответствие числа элементов разветвления в разные фазы водного режима к островам относятся морфологические образования, которые не затопляются при уровнях, соответствующих величине Q_0 . Число рукавов K_a является критерием подобия индивидуальных условий рассредоточения стока по рукавам разветвления. В данном поперечном сечении оно характеризует подобие поперечного рассредоточения стока. Число узлов деления русла характеризует частоту случаев продольного рассредоточения стока по рукавам. При сопоставлении разветвлений их подобие характеризует число рукавов на километр разветвления K_a/l или число островов на километр разветвления

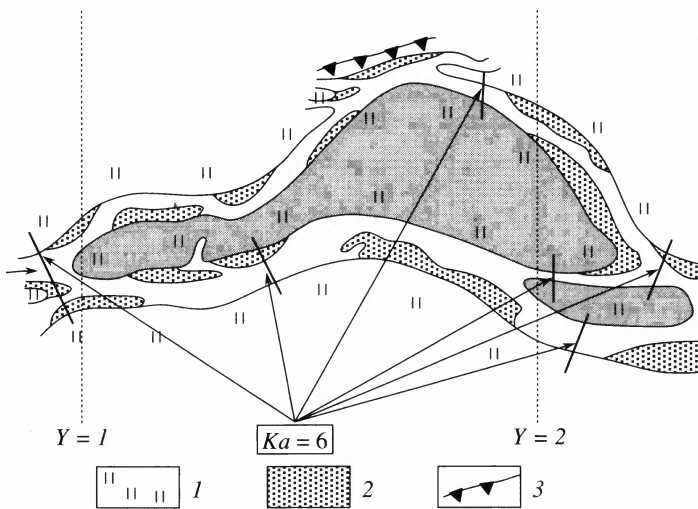


Рис. 3. Формализация структуры разветвленного русла
 1 – пойма, 2 – прирусловые отмели, 3 – коренные берега. K_a – рукава, Y – уровни рассредоточения стока по рукавам

n_0/l , где l – длина разветвления (км). Эти критерии подобия применяются в сложных разветвлениях, где $n_0 \gg 1$.

Критерии подобия русловых разветвлений являются эффективным аппаратом исследования факторов их формирования. При этом необходимо учитывать морфодинамические типы разветвлений [7]. Для простых одиночных разветвлений $K_a = 3$, $K_d = 1$. Сложные одиночные разветвления включают до 5–16 рукавов при $K_d = 2$ –5. На участках сопряженных разветвлений $K_a = 9$ –25 и $K_d = 3$ –6. Большим рассредоточением стока воды характеризуются параллельно-рукавные разветвления. На изученных участках этого типа разветвлений значения K_a изменяются от 12 до 46, а K_d – от 4 до 9.

Процессы рассредоточения стока воды на участках русловых разветвлений контролирует число уровней рассредоточения стока Y . Эта характеристика является производной от сложности продольной структуры разветвления. На участках простых одиночных разветвлений $Y = 1$. Для отдельного узла сопряженных разветвлений $Y \leq 1$ –3. Для участка сопряженного разветвления $Y = 2$ –5, что связано с наличием в структуре этих разветвлений двух и более участков сходимости и расходимости потоков. Для разветвлений, в структуре которых выделяется несколько автономных звеньев, величина Y достигает максимальных значений. На участках параллельно-рукавных Шущенского разветвления Енисея и Якутского разветвления Лены выделяется по 5 уровней рассредоточения стока. Эти разветвления одновременно отличаются максимальным числом рукавов ($K_a = 28$ –46), характеризующим степень поперечного рассредоточения стока.

Условия рассредоточения стока в зависимости от типа разветвлений характеризует таблица 1. Слабое рассредоточение стока воды ($\Delta N2 < 0.15$) отличает простые одиночные разветвления Оби, Чулыма, Бии. Максимальные значения $\Delta N2 > 0.3$ присущи рассредоточению стока воды в условиях пойменно-русловых разветвлений, в параллельно-рукавных разветвлениях Лены, Киренги, Енисея, Оби и Северной Двины. В целом усложнение морфологии разветвлений прямо связано с усилением процессов рассредоточения стока воды. Максимальная степень уменьшения продольных порядков наблюдается на участках пойменно-русловых разветвлений. Критерий $\Delta N2 > 0.3$, а на участках пойменно-русловых разветвлениях малых горных рек с развитыми аллювиальными формами достигает 0.7.

Распределение стока воды на участках разветвлений разных морфодинамических типов

Морфодинамический тип разветвления	Количество разветвлений с величиной $\Delta N2$			Всего
	<0.15	0.15–0.3	≥ 0.3	
Одиночное				
простое	5	3	3	11
сложное	–	4	7	11
Сопряженное	–	4	4	8
Параллельно-рукавное	–	1	4	5
Пойменно-русловое	–	1	7	8
Осередковая многорукавность	–	1	2	3

Среди факторов формирования структуры разветвлений важнейшим оказывается размер реки (порядок реки N). Анализ данных показал, что в разветвлениях больших равнинных рек ($N = 15–18$) (Обь, средняя Лена, Северная Двина, нижняя Томь) значения $K_a/l < 1.3$. На реках меньшего размера ($N = 12–15$) (Сухона, Вычегда, Киренга, Чулым, верхний Енисей) величина K_a/l изменяется от 1 до 7.5. Разветвления малых и средних рек с $N < 9$ имеют наибольшие значения K_a/l , что связано с малыми размерами водотока и русловых образований. Сатинское разветвление Протвы ($N = 8.3$), например, характеризуется величиной $K_a/l = 68$. Максимальные значения K_a/l отмечены на участках осередковой многорукавности малых рек ($N < 5$). Здесь величина K_a/l изменяется в пределах 50–170. При этом пойменно-русловые разветвления этих рек характеризуются значениям $K_a/l = 8–75$.

Структура разветвлений зависит от состава русловых отложений. Переход от равнинных (песчаных) рек к полугорным (галечно-валунным) в общем случае сопровождается усложнением их структуры русловых разветвлений, увеличением отношения K_a/l . Минимальные значения $\Delta N1$ и $\Delta N2$ характерны для рек с песчаными русловыми отложениями. При диаметре русловых отложений $d \leq 1.0$ мм величина $\Delta N1$ находится в пределах 0.8–6.5, а $\Delta N2 = 0.06–0.40$. Критерии $\Delta N1$ и $\Delta N2$ изменяются в другом диапазоне значений, если русла сложены частицами диаметром 24.6–75 мм: от 1.0 до 5.5 и от 0.18 до 0.7 соответственно.

Разветвления больших и средних рек с галечно-валунным составом отложений (Енисей, Киренга, Бия) имеют значения K_a/l больше 1.3. Величина $K_a/l = 1.3$ характерна для разветвлений рек разных типов (Лена, Бия, Чулым). Максимальные значения K_a/l (от 2.4 до 4.3) присущи разветвлениям Киренги, русло которой сложено самым крупным материалом (среди изученных водотоков): $d_{cp} = 65–75$ мм. Кроме повышенных значений K_a/l , эти разветвления отличаются большим продольным рассредоточением стока. Критерий подобия $\Delta N2$ в большинстве разветвлений Киренги и Енисея превышает 0.3. Таким образом, структура разветвлений больших песчаных рек проще устроена по сравнению со структурой разветвлений, возникающих в условиях галечно-валунных русел и на малых реках.

Влияние условий развития русловых деформаций на структуру русловых разветвлений частично контролируется их морфодинамическими типами. Так, участки рек с пойменной многорукавностью встречаются только в широкопойменных руслах. Соответственно, при свободных условиях развития деформаций формируются разветвления с максимальным продольным рассредоточением стока (пойменно-русловые): величина $\Delta N2$ достигает 0.7. Для разветвлений широкопойменных рек отмечены случаи и минимальных значений $\Delta N2 = 0.06$. Число рукавов K_a изменяется от 3 до 40, узлов деления K_d – от 1 до 9, уровней рассредоточения стока $У$ – от 1 до 5. В ограниченных условиях развития деформаций (адаптированные и врезанные русла) разветвления характеризуются величиной K_a от 3 до 46, K_d – от 1 до 8, $У$ – от 1 до 4. $\Delta N2$ изменяется от 0.18 до 0.4. Таким образом, ограниченные условия развития русловых

Типизация разветвлений рек России по условиям рассредоточения стока воды

Тип разветвления	Характеристика			Реки
	K_a/l	$\Delta N1$	$\Delta N2$	
Большие реки с песчаными русловыми отложениями	≤ 1.3	0.8–6.5	0.06–0.4	Лена, Обь, Северная Двина, Томь
Большие и средние реки с галечно-валунными русловыми отложениями	1.3–5	2.68–7.1	0.18–0.4	Верхний Енисей, Киренга, Бия, Сухона
Малые равнинные реки	> 5	2–3.4	0.25–0.4	Протва
Малые горные реки с галечно-валунными русловыми отложениями	> 5	1.1–2.8	0.3–0.7	Малые реки Камчатки

деформаций лимитируют степень продольного рассредоточения стока воды по рукавам (критерий $\Delta N2$). Переход от широкопойменных к врезанным руслам не находит отражения в изменении величин K_a и K_d .

На основе этих данных можно типизировать разветвления по условиям рассредоточения стока воды (табл. 2). Выделено 4 типа разветвлений: больших рек с песчаными русловыми отложениями, больших и средних рек с галечно-валунными русловыми отложениями, малых равнинных рек и малых горных рек с галечно-валунными отложениями. Важнейшим критерием выделения разных типов при этом является величина K_a/l . Значения критерия $K_a/l = 5$ разделяет разветвления больших и средних галечно-валунных рек и разветвления малых рек и ручьев. Критерий выбран на основе того, что максимальная величина K_a/l для разветвлений средних галечно-валунных рек составила 4.3 (разветвления Киренги), а минимальная среди малых рек – 8 (пойменно-русловое разветвление р. Ветвей). Предложенная схема может быть доработана при включении в нее разветвлений, формирующихся на реках в отличных природных условиях.

Выводы

Условия формирования структуры русловых разветвлений целесообразно изучать с помощью количественных критериев. Такими являются отношения между шириной пояса руслоформирования B_p , шириной русла (ширина водного зеркала) B и шириной долины B_d . Прослеживаются закономерные изменения этих характеристик в разветвлениях рек разного размера, формирующихся в разных природных условиях. Переход от участков русловой многорукавности к пойменно-русловой и пойменной связан с трансформацией этих отношений. На основе величин B_p , B и B_d рассмотрены пространственные уровни существования участков рассредоточения стока воды в реках (русловых разветвлений). Они возникают на уровне разбиения меженного потока частями русловых отложений ($B_p/B \rightarrow 1$). На больших широкопойменных равнинных реках значение $B_p/B = 2.5$ является граничным при переходе от пойменно-русловых к пойменным разветвлениям.

Эффективно применение критериев подобия русловых разветвлений. В их число входит условный порядок и число водотоков, формирующих русловую сеть разветвления, число узлов и уровней последовательного деления русла на рукава, абсолютная и относительная величина интенсивности дробления русла на рукава и др. В работе применена новая методика определения условных порядков рукавов, не требующая использования региональных зависимостей между расходами воды и порядками рек. Структура различных разветвлений имеет сходные черты, если для них одинаковы указанные критерии подобия. С помощью этих показателей выявлены закономерности процессов рассредоточения стока больших равнинных рек с песчаными русловыми отложениями, больших и средних рек с галечно-валунными русловыми отложениями,

малых равнинных рек и малых горных рек с галечно-валунными русловыми отложениями. Прослеживается соответствие критериев подобия русловых разветвлений разных морфодинамических типов. Встречаемость в природе русловых разветвлений со сложной структурой (сильным рассредоточением стока) выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русловой режим рек Северной Евразии / Р.С. Чалов. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
2. Цатурян Г.Г. Совершенствование методов улучшения судоходных условий на много рукавных участках рек: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск: НГАВТ, 2003. 18 с.
3. Ржаницин Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 264 с.
4. Алексеевский Н.И., Чалов С.Р. Структура русловых разветвлений // Геоморфология. 2004. № 3. С. 57–66.
5. Косицкий А.Г. Масштабные эффекты изменения речного стока в различных природных условиях: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2003. 25 с.
6. Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А.Г. Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории // География. Общество. Окружающая среда. Т. VI. Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы. М.: Изд. дом "Городец", 2004. С. 345–374.
7. Чалов Р.С. Сложно разветвленные русла равнинных рек: условия формирования, морфология и деформации // Водные ресурсы. 2001. Т. 28. № 2. С. 166–171.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
20.06.2005

DEVELOPMENT OF THE CHANNEL FURCATIONS STRUCTURE

S.R. CHALOV

S u m m a r y

The role of external factors in the braided channels formation is analyzed on the base of quantitative criteria. The braided channel classification by flow redistribution is put forward. The correspondence of braided channel structure to river valley and channel morphology is shown.