

15. Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 214 с.
16. Лохин М.Ю., Маев Е.Г. Позднеплейстоценовые дельты на шельфе северной части Среднего Каспия // Вестн. МГУ. Сер. 5. 1990. № 3. С. 34–39.
17. Николаев В.А. Сарпинско-Даванская ложбина и ее происхождение // Изв. ВГО. 1957. № 4. С. 333–338.
18. Свиточ А.А., Янина Т.А. Строение и развитие дельты Волги // Геоморфология. 1994. № 1. С. 11–24.
19. Мазарович А.Н. Геологическое строение между Куйбышевым и Оренбургом // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1936. Т. 14. Вып. 6. С. 25–32.
20. Коноваленко С.С., Кочубенко ОВ., Шилаев С.А. и др. Плиоценовая речная сеть Куйбышевского Поволжья / Возраст и генезис переуглублений на шельфах и история речных долин. М.: Наука, 1984. С. 97–102.
21. Батурин В.П. Генезис продуктивной толщи Апшеронского п-ова и прилегающих районов / Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 189–202.
22. Губонина З.П. Результаты спорово-пыльцевого анализа аллювиальных отложений долины Волги / Вопросы палеогеографии и геоморфологии бассейнов Волги и Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 189–202.

Московский государственный университет
 Географический факультет

Поступила в редакцию
 06.05.2002

BURIED VALLEYS OF LOWER VOLGA

A.A. SVITOCH, E.N. BADYUKOVA

S u m m a r y

The history of Volga valley from Pliocene till now is under consideration. Geological data of previous investigations prove that large river valley periodically appeared during all stages of new geologic time in the area of Lower Volga. The paleo-valley had migratory entry and characteristic landforms. Some large epochs may be determined: Pliocene – with deep incised valley, Akchaghylian and Apsheronian – the time of marine sediments and alluvium accumulation.

During Pleistocene the erosion valleys, which were incised due to the fast decrease of the Caspian Sea level, as a rule were being filled with alluvium in the periods of steady sea level. Later alluvium was being covered with marine sediments of transgression.

Recent delta of Volga has little in common with ancient deltas in regard to genesis and morphology. It is typical bird-foot delta with a multitude of anabranches and channels.

УДК 551.435.11(282.251.1)

© 2004 г. В.Г. СМЕРНОВА, Р.С. ЧАЛОВ

ОЦЕНКА ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЕЛ РАЗНЫХ ТИПОВ НА РЕКАХ АЛТАЙСКОГО РЕГИОНА (БАССЕЙН ВЕРХНЕЙ ОБИ)¹

Алтайский регион относится к очень немногим (если не к единственному), характеризующимся сравнительно хорошей изученностью русловых процессов на реках. Последние в основном принадлежат бассейну верхней Оби, являющейся здесь главной водной артерией. Многочисленные публикации по отдельным рекам дают достаточно полное представление о морфологии и динамике речных русел, русловом режиме многих рек региона, факторах русловых процессов и их изменениях под влиянием хозяйственной деятельности. Обобщение этих материалов позволило в 90-е годы XX столетия подготовить и издать карту “Русловые процессы на реках Алтайского края” [1] в масштабе 1 : 1000000, а затем монографию практически с тем же названием [2], которую можно рассматривать как своего рода расширенную объяснительную записку к карте. В основе этих изданий лежат материалы многолетних детальных крупномасштабных русловых исследований, использование которых позволяет решить разнообразные научные и практические задачи. В частности, они

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 00-05-64690)).

позволяют на примере крупного региона, входящего в один речной бассейн, однородного по гидроклиматическим характеристикам, но отличающегося по геоморфологии и геологическому строению разных своих частей (горы, предгорья, равнины), выявить условия формирования русел рек разного морфодинамического типа.

Известно, что русла рек могут быть разветвленными на рукава, извилистыми (меандрирующими) или относительно прямолинейными, неразветвленными, причем каждый из этих типов имеет большое число разновидностей, различающихся по степени разветвленности, извилистости или особенностям прямолинейности русел. Одновременно русла каждого из типов или их разновидностей могут быть горными, полугорными или равнинными, а по геолого-геоморфологическим условиям формирования – широкопойменными, врезанными или адаптированными [3]. В условиях активного хозяйственного использования рек и их бассейнов, ведущего к изменению факторов русловых процессов, а также прогнозируемых глобальных изменений климата и водности рек большое значение приобретает определение граничных условий развития русел рек разных типов. Установление пороговой границы между ними позволяет выявить условия, при которых русла рек приобретают тот или иной морфодинамический тип. Это дает возможность давать прогнозную оценку изменений характера русловых процессов при естественной и антропогенной трансформации их факторов.

Понятие пороговой границы между типами русел впервые было применено Е. Лейном [4], а затем Л. Леопольдом и М. Вольманом [5] для оценки условий развития меандрирующих и разветвленных рек. При этом они использовали график “расход–уклон”, который впоследствии стали называть QI -диаграммой. На графике точки, соответствующие разветвленным руслам, располагаются в верхней его части, меандрирующим – в нижней. Граница раздела между ними описывается уравнением:

$$I = 0.013Q^{-0.44}, \quad (1)$$

где I – уклон русла, Q – расход воды при максимальном наполнении емкости русла в пойменных бровках.

В дальнейшем В.В. Ромашин [6], В.И. Антроповский [7], А.М. Алабян [8] рассматривали усовершенствованные варианты построения подобных критериальных графиков, а Б.Ф. Снищенко [9] предложил принципиально новый подход к оценке критериев разделения русел рек по их типам (в рамках классификации ГГИ). Эти работы подтвердили наличие связи между характером русла, уклоном и водностью рек, но показали, что нередко она осложняется другими факторами либо затушевывается ими. При этом обычно на графиках QI точки, характеризующие реки с разветвленным на рукава руслом, располагались сверху и справа от точек, соответствующих меандрирующим рекам, хотя в уравнениях линии раздела коэффициенты отличались от полученных Л. Леопольдом и М. Вольманом. Детальный анализ QI -диаграмм как метода определения условий формирования прямолинейных, меандрирующих и разветвленных русел был выполнен А.М. Алабяном [3], который дал теоретическое обоснование применимости этого подхода и показал, что он связывает формирование того или иного типа русла с удельной мощностью потока. Очевидно, чем выше и правее лежат на графике точки, тем более мощному потоку они соответствуют; таким образом, разветвленные русла характерны преимущественно для больших рек, потоки которых разделяются на несколько динамических осей [10]. Последующие исследования выявили зависимость характера расположения точек, соответствующих разным типам русел, и значений коэффициентов в уравнениях, аппроксимирующие линии раздела между ними, от природных условий регионов [11], т.е. показали региональный смысл QI -диаграмм, а, с другой стороны, – от размеров рек (малые или большие), их водоносности [12].

А.В. Панин [13], исследуя условия развития как широкопойменных, так и врезанных русел с помощью анализа QI -диаграмм, обнаружил, что верхнюю и правую их части занимают точки, соответствующие врезанным руслам, которые располагают-

ся над полем точек рек с широкопойменным разветвленным руслом. Близкий результат был получен В.В. Ивановым [14], исследовавшим условия существования разновидностей относительно прямолинейных, неразветвленных русел: коэффициент a в уравнении $I - aQ^{-n}$ для врезанных русел равен 13, адаптированных – 5.3, широкопойменных – от 2.8 до 0.7 в зависимости от соотношения ширин поймы и русла. Таким образом, врезанные русла любых типов на QI -диаграммах располагаются, как правило, выше широкопойменных разветвленных; соответственно, врезанные русла формируются при прочих равных условиях потоками наибольшей мощности.

На реках Алтайского региона [1, 2] в равнинной части бассейна верхней Оби абсолютно преобладают свободно меандрирующие русла; разветвленное русло характерно только для самой верхней Оби (50% длины реки; остальная часть представлена излучинами – 35% и прямолинейными участками – 15%), а также нижнего течения Катуня и Бии, ниже выхода этих рек из гор, где они по типу русловых процессов сохраняют еще полугорный характер. В горной части региона широкопойменные русла встречаются только во внутриворонных котловинах, где они являются разветвленными на рукава (Уймонская, Камская, Курайская и другие “степи”); большинство рек региона имеют врезанные русла – врезанные излучины или относительно прямолинейные, располагающиеся в беспойменных ущельях и занимающие практически все дно долины.

Для определения граничных условий развития русел разного морфодинамического типа по данным для 20 рек Алтайского региона, протекающих в разных его частях (равнинные, горные, внутренние котловины – “степи”) и имеющих различную водность и неоднородный состав руслообразующих наносов (песчаные, галечные, галечно-валунные) был построен график “уклон–расход” (рисунок), позволивший получить региональную зависимость, отражающую пороговую границу между реками с широкопойменным и разветвленным меандрирующим и врезанным руслом и определить место разветвленных на рукава русел в морфодинамической системе речных русел данного региона. Оценка влияния основных факторов руслоформирования была проведена с помощью двух показателей: среднего максимального расхода воды Q_{\max} и уклона дна долины реки I_d . Морфодинамический тип русла для каждой точки на графике определялся по карте “Русловые процессы на реках Алтайского края” [1], а также по материалам монографий [2, 15]. Средние максимальные расходы воды на реках находятся в интервале от 20.5 до 6390 м³/с. Значения уклонов дна долин рек изменяются от 0.1 до 6‰. Весь массив точек на графике разделяется двумя прямыми линиями на три области, соответствующие широкопойменным меандрирующим руслам, широкопойменным разветвленным руслам равнинных, полугорных и горных рек, а также врезанным горным и полугорным рекам с преимущественно относительно прямолинейным руслом и врезанными излучинами. Точки, соответствующие свободно меандрирующим руслам, расположены в левой нижней части графика, а врезанным руслам горных и полугорных рек – в верхней его части. Участки рек с разветвленным руслом занимают центральную часть графика, заключенную между двумя линиями. Пороговая граница между разветвленными и меандрирующими реками Алтайского региона достаточно хорошо выражена и аппроксимируется уравнением

$$I_d = 0.066 Q_{\max}^{-0.74} \quad (2)$$

Линию раздела между разветвленными руслами и реками с врезанным относительно прямолинейным, неразветвленным руслом можно аппроксимировать уравнением

$$I_d = 0.0138 Q_{\max}^{-0.28} \quad (3)$$

Таким образом, на графике был получен своеобразный “клин разветвленных русел”, ограниченный снизу равнинными реками со свободно меандрирующими руслами, сверху – горными и полугорными врезанными реками с неразветвленным прямолинейным руслом. Точка начала полученного “клина разветвления” соответствует

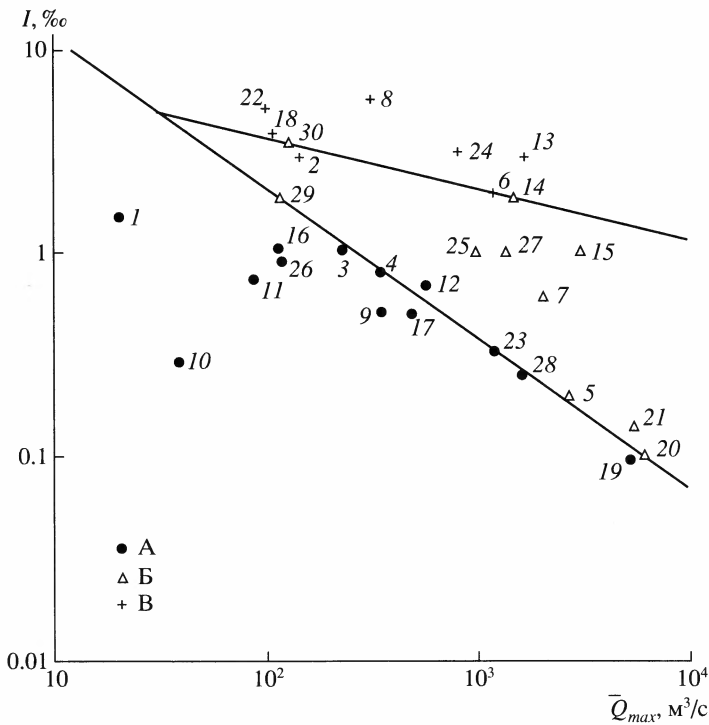


График зависимости “расход – уклон” для различных типов русел рек Алтайского региона (А – меандрирующие, Б – разветвленные, В – относительно прямолинейные, неразветвленные врезанные)

Цифрами обозначены реки и пункты: 1 – Абай – Абай, 2 – Ануй – Солонешное, 3 – Алей – Староалейское, 4 – Аламбай – Казанцево, 5 – Бия – Бийск, 6 – Бия – Кебезень, 7 – Бия – Соусканиха, 8 – Башкаус – Усть-Улаган, 9 – Белая – Бугрышска, 10 – Бурла – Хабары, 11 – Большая Речка – Троицкое, 12 – Иша – Усть-Иша, 13 – Катунь – Тюнгур, 14 – Катунь – Усть-Кокса, 15 – Катунь – Сротски, 16 – Каменка – Советское, 17 – Кокса – Усть-Кокса, 18 – Майма – Майма, 19 – Обь – Барнаул, 20 – Обь – Камень-на-Оби, 21 – Обь – Фоминское, 22 – Урсул – Онгудай, 23 – Чарыш – Белоглазово, 24 – Чарыш – Чарышское, 25 – Чарыш – Бестужево, 26 – Чапша – Красногорское, 27 – Чулышман – Балыкча, 28 – Чумыш – Тальменга, 29 – Чуя – Кош-Агач, 30 – Чуя – Курай

значениям $Q_{\max} = 50 \text{ м}^3/\text{с}$, $I_{\text{д}} = 5.4\text{‰}$. Следовательно, для рек со средними максимальными расходами менее $50 \text{ м}^3/\text{с}$ разветвленные русла вообще не характерны. Это согласуется с нашим мнением, что русла малых рек не разветвляются, являясь только меандрирующими либо относительно прямолинейными, неразветвленными [16]. С увеличением водности реки вероятность образования разветвленных русел возрастает. Например, при одном и том же значении уклона дна долины, р. Большая Речка со средним максимальным расходом воды $91 \text{ м}^3/\text{с}$ меандрирует, а р. Бия с расходом $2200 \text{ м}^3/\text{с}$ – разветвляется на рукава. С другой стороны, на Оби [15] на фоне увеличивающейся вниз по течению водности (Q_{\max} на г.п. Фоминское ниже слияния Бии и Катунь равен $5190 \text{ м}^3/\text{с}$, на г.п. Барнаул – $5430 \text{ м}^3/\text{с}$, на г.п. Камень-на-Оби – $6320 \text{ м}^3/\text{с}$) благодаря уменьшению уклона (от 0.20 до 0.06‰) разветвленное русло уступает место меандрирующему. На Чарыше на участке от с. Чарышского до с. Белоглазово можно проследить как вследствие изменения уклона дна долины реки от 3.19 до 1 и до 0.38‰, при почти неизменном расходе воды, происходит смена врезанного полугорного, относительно прямолинейного русла разветвленным и далее меандрирующим. Ступенчатый продольный профиль рек в пределах крупных межгор-

ных котловин Алтай также обуславливает смену типов русла в зависимости от изменения уклонов дна долины.

Это хорошо согласуется с расположением разветвленных русел на QI -диаграмме, полученной А.М. Алабяном [3, 8], а также расположением точек, соответствующих пойменной многорукавности (по классификации ГГИ) на аналогичном графике В.В. Ромашина [6]. Отличием от них является наличие над полем точек, соответствующих разветвленным руслам, поля врезанных, в основном прямолинейных неразветвленных русел горных и полугорных рек. Но это совпадает с данными В.В. Иванова [9, 14], согласно которым в верхней правой части QI -диаграмм, построенных только для прямолинейных русел, находятся точки, соответствующие врезанным руслам, и в еще большей мере с данными А.В. Панина, получившего поле точек врезанных русел выше поля разветвленных русел [13].

Точки, расположенные на графике близко к пороговым границам, принадлежат, как правило, рекам с переходным типом русла. Например, р. Обь у г. Барнаула представляет собой участок с чередованием излучин и одиночных разветвлений, а также с выраженными чертами пойменной многорукавности (по классификации МГУ). Река Ануй выше и ниже с. Солонешного имеет врезанное неразветвленное русло, а непосредственно в котловине, в которой находится село, где долина расширяется, формируется небольшой участок разветвленного русла.

При переходе от разветвленных к прямолинейным руслам важную роль играют не только удельная мощность потока (“расход – уклон”), но и состав руслообразующих наносов, устойчивость берегов к размыву и другие факторы. Большинство рек, протекающих в песчаных отложениях, является меандрирующими. Только реки с максимальными расходами, превышающими $1300 \text{ м}^3/\text{с}$, имеют разветвленные русла. В пределах Алтайского региона таковым является только русло Оби. Большинство разветвленных русел рек во внутренних котловинах Алтая имеет песчано-галечный и галечный аллювий.

Полученные граничные условия позволяют с достаточной степенью надежности определять тип русла неизученных рек региона по значениям уклона дна долины и среднего максимального расхода воды, а, с другой стороны, оценивать возможную трансформацию морфодинамического типа русла в ходе развития продольного профиля реки и изменений ее водности при естественных и антропогенных преобразованиях природной среды. Например, при снижении средних максимальных расходов воды разветвленное русло реки может трансформироваться в меандрирующее (это в настоящее время наблюдается на Оби непосредственно за пределами региона – в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС, где произошла “срезка” пика половодья [15], и следует ожидать для нижней Катунь и верхней Оби, если будет реализован проект строительства Катунской ГЭС). При возрастании уклонов разветвленное русло может превратиться в горное врезанное, относительно прямолинейное русло с развитыми аллювиальными формами. Очевидно, что подобные преобразования возможны в первую очередь для рек, расположенных вблизи пороговой границы. Например, по архивным данным Чарыш в районе с. Чарышского еще в начале XX в. имел разветвленное русло. В результате активной хозяйственной деятельности, выразившейся в перекрытии пойменных протоков, строительстве на пойме реки защитных дамб, массовой добыче руслового аллювия, произошло врезание реки (на $0.8\text{--}1.0 \text{ м}$) и превращение русла Чарыша из широкопойменного во врезанное, относительно прямолинейное.

Детальное изучение разветвленных русел рек Алтая позволило выявить закономерности размещения разветвленных русел разных типов внутри “клины разветвления” в зависимости от близости к пороговым границам. В центральной части “клина” находятся наиболее сложные разновидности разветвленных русел – разбросанные, параллельно-рукавные, в верхней части – одиночные разветвления, в нижней – разветвленно-извилистые русла, а также пойменно-русовые разветвления [17]. Последние представляют собой систему из двух длинных рукавов, каждый из которых

имеет свое меандрирующее русло. При отмирании рукавов пойменно-русловые разветвления легко трансформируются в меандрирующее русло.

Полученные материалы впервые рассматривают в поле QI -диаграммы все разновидности русел рек Алтайского региона. Принципиально новым является выявление граничных условий формирования разветвленных русел и определение нижнего (по водоносности) предела их развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русловые процессы на реках Алтайского края. Масштаб 1 : 1000000. М.: Комитет геодезии и картографии СССР, 1991. 1 л.
2. Русловые процессы на реках Алтайского региона. М.: Изд-во МГУ, 1996. 243 с.
3. Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В. и др. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
4. Lane E.M. A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material // U.S. Army Corps of Engineers, Missouri River Div., Omaha, Nebraska. MRD Sediment Ser. 1957. № 9. 106 p.
5. Leopold L.B., Wolman M.G. River-channel patterns: braided, meandering and straight // U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1957. № 282-B. P. 1–85.
6. Ромашин В.В. Типы руслового процесса в связи с определяющими факторами // Труды ГГИ. 1968. Вып. 155. С. 56–63.
7. Антроповский В.И. Критериальные зависимости типов руслового процесса // Труды ГГИ. 1972. Вып. 190. С. 5–18.
8. Алабян А.М. Типы русел равнинных рек и факторы их формирования // Геоморфология. 1992. № 4. С. 37–42.
9. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 272 с.
10. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 287 с.
11. Алабян А.М., Глазырина П.В. Разработка и использование информационной системы для анализа русловых процессов // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1996. № 5. С. 12–19.
12. Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во МГУ, 2000. 216 с.
13. Панин А.В. Морфология и динамика врезанных галечно-валунных русел. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1991. 24 с.
14. Иванов В.В. Условия формирования, гидролого-морфометрические зависимости и деформации относительно прямолинейных неразветвленных русел. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1989. 23 с.
15. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ-плюс, 2001. 300 с.
16. Чалов Р.С., Чернов А.В. Морфология и динамика русел малых рек России и их антропогенные изменения // Малые реки России. М.: Изд-во МГУ, 1994. С. 66–80.
17. Чалов Р.С. Пойменно-русловые разветвления и особенности их формирования // Четырнадцатое пленарное межвуз. координац. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Уфа, 1999. С. 215–217.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
27.12.2002

THE BOUNDARY CONDITIONS OF THE DIFFERENT TYPE RIVER CHANNELS FORMATION IN THE ALTAI REGION (UPPER OB' BASIN)

V. G. SMIRNOVA, R. S. CHALOV

S u m m a r y

On the base of QI -diagram analysis the formation of different types of channels was considered: for plain rivers, mountain rivers, incised rivers and rivers with broad flood plain. Heterogeneous approximations of boundary lines, dividing point fields on the QI -diagrams, corresponding to different channel types, were revealed. Authors argue that incised channels appear at maximal intensity of flow; branching channels occur on rivers with average maximum discharge more than 50 m³/sec, which is characteristic for big rivers.