

нез, литогенез, рудогенез / М-лы IV Всерос. литологич. совещ. Т. 1. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 331–333.

12. Карнаухова Г.А. Минералогическая специфика седиментогенеза в водохранилищах Ангарского каскада // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории земли / М-лы V Всерос. литологич. совещ. Т. I. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. С. 280–282.
13. Карнаухова Г.А. Процессы осадкообразования в водохранилищах Ангарского каскада: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Иркутск: ИГ СО РАН, 2009. 44 с.
14. Пуляевский Г.М., Овчинников Г.И. Формирование берегов Ангарских водохранилищ // Моделирование и прогнозирование геофизических процессов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. С. 39–46.
15. Овчинников Г.И., Карнаухова Г.А. Прибрежные наносы и донные отложения Братского водохранилища. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 68 с.
16. Карнаухова Г.А. Литолого-геохимическая дифференциация донных отложений водохранилищ Ангарского каскада // Геохимия. 2007. № 4. С. 439–449.
17. Карнаухова Г.А. Минералогические особенности седиментогенеза в Ангарских водохранилищах // ДАН. 2007. Т. 417. № 6. С. 828–829.

ФГБУН ИЗК СО РАН, Иркутск

Поступила в редакцию
25.01.2012

FORMATION OF THE BOTTOM SEDIMENTS IN ANGARA RESERVOIRS COASTAL ZONE

G.A. KARNAUKHOVA, T.M. SKOVITINA

Summary

It is shown that accumulation of sediments and formation of the coastal banks on the Angara reservoirs occur in the areas of predominant abrasion shores. Abrasion produces more than 200 Mt/y of loose sediments, 40% to 90% of which participates in formation of coastal banks occupying only 1% of the reservoirs' area. Granulometric composition, mineralogical and geochemical characteristics of the coastal banks sediments correlate with the abrasion shores rock composition.

УДК 551.435.1:551.4.012

© 2013 г. Е.А. ЛЬВОВСКАЯ, Р.С. ЧАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВОДНОСТИ РЕК¹

Введение (постановка задачи)

Основным активным фактором русловых процессов является сток воды. Его изменения определяют соответствующие изменения морфометрических характеристик русла, его морфологических параметров, направленность и интенсивность переформирования. Речной сток, в свою очередь, зависит от климатических условий, которые обуславливают чередование во времени маловодных и многоводных периодов различной продолжительности – от 10–15-летних до столетий, а также увеличение/уменьшение водоносности рек и трансформацию их водного режима при глобальных изменениях природных условий и климата. С другой стороны, он определяется стоком наносов, который зависит не только от литологического строения бассейна и

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 12-05-00348) и программы президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-79.2012.5).

долины реки и их рельефа, но и от особенностей климата. Поэтому периодические и направленные изменения климата через соответствующие изменения водности являются ведущими, позволяющими давать прогнозные оценки изменений морфологии и динамики русла под влиянием этих изменений.

В настоящее время наиболее вероятным сценарием глобального изменения климата считается его потепление. Однако устоявшегося сценария изменений водного режима рек нет. Одни исследователи придерживаются точки зрения, что значительных изменений водности рек не ожидается [1], другие считают, что одинаково вероятны как тенденции повышения, так и понижения стока, последнее – на юге Европейской территории России [2, 3]. При этом возможны несколько сценариев перераспределения стока по сезонам: 1) увеличение стока половодья и снижение летней межени; 2) повышение стока летней межени и снижение стока половодья.

Основные переформирования русла происходят в многоводные сезоны, но зависят также от повторяемости тех или иных расходов воды в многолетнем плане, сглаживая периодические колебания водности. Такие расходы, определяющие переформирование русел в разные фазы водного режима, называются руслоформирующими Q_{ϕ} [4, 5]. Изменения водности рек приводят к изменениям величины, обеспеченности и условий прохождения Q_{ϕ} и, соответственно, вместе с изменением стока воды и наносов к трансформации русел рек, направленности и интенсивности русловых деформаций.

В этой связи актуальной является задача – каким образом при прогнозируемых изменениях климата будут меняться русла рек, насколько существенными будут эти изменения, и как они отразятся в хозяйственной деятельности на реках и приречных территориях.

Цель настоящей статьи – оценка современных подходов прогнозирования русловых процессов при многолетних или вековых изменениях водности рек.

Методы ретроспективных и прогнозных оценок русловых деформаций

В основе исследований русловых процессов и их изменений в прошлом, настоящем и будущем лежат соотношения между характеристиками потока и русла. Совокупность методов, основанных на этих взаимосвязях, составляет гидролого-морфологический анализ речных русел. Его основными элементами являются: 1) выявление зависимостей между характеристиками потока и русла, с одной стороны, и показателями факторов руслоформирования – стоком воды и наносов, с другой [5, 6]; 2) построение QI -диаграмм, на которых точки, соответствующие различным морфодинамическим типам русла занимают определенное поле относительно разделяющих их линий, что позволяет оценивать условия их формирования в зависимости от водности потока (Q – расход воды) и уклона I свободной поверхности [6]; 3) сопоставление разновременного картографического (планового) материала, фиксирующего состояние русел на определенные временные срезы, в увязке выявленных русловых деформаций с изменением гидрологических характеристик и воздействиями на реки между ними [7].

Гидролого-морфологические зависимости наиболее часто применяются для меандрирующих русел, характеристики которых (радиус кривизны r , шаг L) имеют устойчивые связи с показателями водности реки, более устойчивые для широкопойменных, менее – для врезанных русел. Соответственно этим связям увеличение или уменьшение водности сопровождаются ростом или снижением параметров излучин и, как следствие, направленности и темпов размыва речных берегов на излучинах при их смещении, спрямлении и т. д.

Для разветвленных русел, как правило, гидролого-морфологические зависимости представляют собой выражения, связывающие параметры рукавов или островов с гидравлическими характеристиками потока [6, 8].

Метод QI -диаграмм, впервые предложенный Л. Леопольдом и М. Вольманом [9], применяется для анализа условий формирования русел разных типов большинства

отдельных рек, их бассейнов и даже целых регионов. В поле QI -диаграммы поля точек, соответствующие участкам рек с определенным типом русла, разделяются границными линиями. Коэффициенты уравнений для граничных линий неодинаковы при различном сочетании природных условий, разном гидрологическом режиме и т. д. [5, 6] Обобщение имеющихся данных позволяет говорить о региональном характере QI -диаграмм, имеющих свой вид для рек Алтая [10], бассейнов Северной Двины [11], Амура [12], Оки [13] и др.

Физический смысл QI -диаграмм заключается в том, что произведение QI является основным элементом в выражении мощности потока [6]. Чем больше это произведение, тем больше мощность потока ему соответствующая, а точки в поле диаграммы располагаются выше или правее в зависимости от того, что определяет мощность потока: уклоны при малой водности или водность при малых уклонах. При наибольших мощностях потока формируются разветвленные русла. Действительно, разветвления на рукава свойственны практически всем большим и крупнейшим рекам с широкопойменным, а нередко и врезанным руслом. Напротив, при малой мощности потока формируются извилистые русла. В области разветвленных русел большей мощности потока (правая и верхняя часть QI -диаграммы) соответствуют наиболее сложным разветвлениям; в области меандрирующих русел правее и выше расположены прорванные излучины. То же установлено для относительно прямолинейных русел [6]. Между извилистыми и разветвленными руслами на QI -диаграмме часто имеется широкая переходная область, существование которой объясняется многообразием условий формирования русел.

Разными исследователями в качестве характерного расхода воды Q принимались расход в бровках поймы, среднее многолетнее значение расхода воды и т. п. Наиболее физически обоснованным является использование руслоформирующего расхода воды Q_{ϕ} (в понимании Н.И. Маккавеева [4]), поскольку он учитывает не только водность как фактор стока наносов и русловых деформаций, но и повторяемость расходов воды, уклоны, крупность наносов и ширину поймы, то есть отражает влияние на русловой режим рек всех ландшафтных условий на водосборе. Однако недостатком применения Q_{ϕ} для выявления условий развития русел является то, что он рассчитывается для створов гидрологических постов и не учитывает особенностей долины и русла даже на смежных участках выше и ниже по течению, иногда существенно иных из-за требований к организации гидропостов. В связи с этим расход Q_{ϕ} обычно заменяется эквивалентным близким к нему средним максимальным расходом воды $Q_{\max}$ или расходом 30-дневной повторяемости Q_{30} [14].

При смене условий развития русла, связанных с естественными изменениями природных факторов (потеплением климата и увеличением водности рек) по диаграмме можно установить возможную смену морфодинамического типа русла и его усложнение благодаря смещению точки, соответствующей данному посту. Это происходит в результате повышения или понижения водности реки. Подобные изменения водности могут происходить также вследствие крупного гидротехнического строительства, и регулирование стока можно рассматривать как определенную модель климатических изменений.

Палео- и исторический (ретроспективный) анализ и прогнозная оценка переформирования русел по гидролого-морфологическим зависимостям

Русловые деформации осуществляются в течение отрезков времени различной продолжительности. Так, период развития излучин от сегментной пологой формы до её спрямления на реках даже со слабоустойчивым руслом охватывает от нескольких десятков лет до нескольких столетий, и чтобы выявить закономерности их эволюции, необходимы не только материалы наблюдений за деформациями, но и их следы, запечатленные в рельефе поймы. В связи с этим возникают определенные трудности

при применении гидролого-морфологических методов для ретроспективного анализа, которые связаны, во-первых, с тем, что период наблюдений за расходами воды начался сравнительно недавно (в основном с конца XIX–первой половины XX в.); во-вторых, картографические и плановые (промерно-съёмочные) материалы, позволяющие оценить параметры русла, ограничены таким же отрезком времени, либо отличающегося малой точностью (карты XVIII–первой половины XIX в.), позволяя давать только качественные оценки. Проблема решается с помощью аэро- и космических снимков, на которых хорошо дешифрируются сохранившиеся в рельефе поймы следы древних русел и формы, образовавшиеся в ходе их эволюции. Их исследования, дополненные определением возраста выполняющих их отложений, позволяют оценить сток воды в прошлом. Такие методы являются палеометодами и заключаются в реконструкции палеогидрологической обстановки времени формирования русел; зная соотношение параметров русла и водности данной реки можно восстановить водный режим реки на разных этапах эволюции её русла.

Морфологические данные (фрагменты разновозрастных палеорусел с размерами большими или меньшими, чем у современных рек) свидетельствуют о значительной изменчивости увлажнённости территории и стока воды в прошлом (позднеледниковье и голоцен). В основе палеометода лежит, таким образом, анализ форм рельефа на разновозрастных участках пойм, позволяющих оценить морфометрические характеристики палеорусел (ширина бывшего русла, радиусы кривизны и шаги излучин), восстанавливаемые с достаточной точностью по космическим снимкам, и определить морфодинамический тип русла, а следовательно, судить о водоносности рек в реконструируемый период. Для оценки влияния внутригодовой изменчивости стока воды применяется принцип палеогеографической аналогии, поскольку гидрологический режим прошлого может не совпадать с современным из-за изменения ландшафтно-климатических условий [15]. Он заключается в том, что гидрологический режим рек соответствующей природной палеообстановки в пределах бассейна мог быть близок к современному гидрологическому режиму рек иной территории, и, наоборот, современный водный режим реки может быть аналогом для палеорек другой природной зоны. Подобные палеогидрологические реконструкции русел в позднеледниковье и голоцене выполнены А.Ю. Сидорчуком с соавторами [15–18] для рек Европейской территории России, в т.ч. Северной Двины, Мезени, Печоры. По особенностям их трансформации в голоцене меандрирующие в настоящее время русла рек Севера ЕТР разделены ими на две группы: 1) испытывавшие смену русла на разветвленное и обратно; 2) сохранившие извилистое русло, но средние размеры параметров излучин существенно изменялись в ту или другую сторону в зависимости от уменьшения или увеличения водности. Используя разработанные ими связи среднегодовых и среднемаксимальных расходов воды с шириной русла и площадью водосбора, а также соотношением ширин современного и древнего русла можно, зная прогнозную оценку увеличения/уменьшения $Q_{\text{ср}}$, рассчитать возможные изменения параметров русла в будущем.

Подобный подход в отечественной литературе впервые использовал Н.И. Маккавеев [19], но он оперировал радиусами r и шагами L излучин. Действительно, ширина русла является более неопределённым параметром, зависит от стадии развития излучины и, что более весомо, от того, измерена она в бровках поймы или с учетом обсыхающих в межень прирусловых отmelей, что установить по сохранившимся старцам практически невозможно (либо очень субъективно).

Восстановление порядка водности реки по известным параметрам русла r . Вычегды (имеются карты второй половины XVIII в.) было сделано И.Н. Каргаполовой [20] также для исторического периода (рис. 1). Используя зависимости $r = f(Q_{\text{ср}})$ или $L = f(Q_{\text{ср}})$, где r – радиус кривизны, L – шаг излучин, $Q_{\text{ср}}$ – среднегодовой расход воды, были установлены связи между водностью и параметрами излучин, аппроксимируемые уравнениями регрессии $Q_{\text{ср}} = 0.02r^{1.47}$ и $Q_{\text{ср}} = 0.004L^{1.52}$. Воспользовавшись этими пространственными (по длине реки) зависимостями и перенося их на изменения во

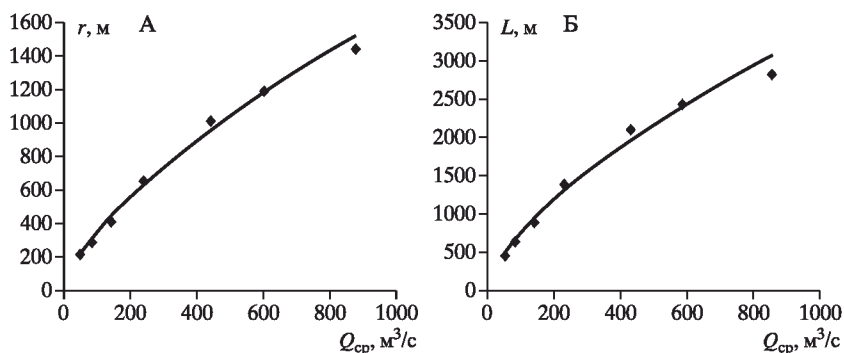


Рис. 1. Зависимость параметров свободных излучин р. Выгеды радиуса кривизны r (А) и шага L (Б) от среднегодового расхода воды [18]

времени, зная параметры излучин нужного периода (в данном случае второй половины XVIII в.), была определена водность реки в это время (таблица).

Экстраполируя полученные изменения водности на прогнозируемый период можно по прямой аналогии устанавливать параметры русел при соответствующих характеристиках водности реки в будущем.

Таким образом, гидролого-морфологический анализ является не только методом исследования русловых процессов прошлого, но и одним из основных для прогнозирования трансформаций русел разного морфодинамического типа в будущем. Зная прогнозные условия формирования русла (водность, сток наносов и др.), по имеющимся гидролого-морфологическим зависимостям можно оценить его возможные “новые” основные параметры.

Прогноз деформаций речных излучин в большинстве случаев основывается на экстраполяции данных о темпах и направленности их смещения, полученных при сопоставлении разновременных картографических материалов. Вместе с тем существуют также расчетные методы, основанные на эмпирических зависимостях, связывающих скорости смещения излучин со скоростями потока, а также различные параметры излучин с характеристиками водности и стока наносов.

Как известно, свободные излучины в своем развитии проходят несколько стадий от возникновения асимметрии поперечного сечения русла в их вершине до спрямления на стадии сегментной формы (образование прорванных излучин), либо до формирования излучин омеговидной (петлеобразной) или заваленной формы [8, 14]. Каждая

Восстановление водности р. Выгеды во второй половине XVIII в. по гидролого-морфологическим зависимостям [18]

Участок реки	Средне-го- довой рас- ход воды, Q_{cp}	Параметры русла				Среднегодовой расход воды второй половины XVIII в., рас- считанный по зависимости	
		настоящего времени (по лощманской карте 1977 г.)		второй половины XVIII в. (по планам 1780-х гг.)			
		r	L	r	L	$Q_{cp} = f(r)$	$Q_{cp} = f(L)$
Нем–Северная	140	415	890	510	1110	190	170
Кельтма	235	660	1400	780	1760	360	340
Северная Кельт- ма–Вишера	440	1010	2115	1030	2190	540	480
Вишера–Сысола	600	1190	2840	1110	2530	600	590
Сысола–Вымь							

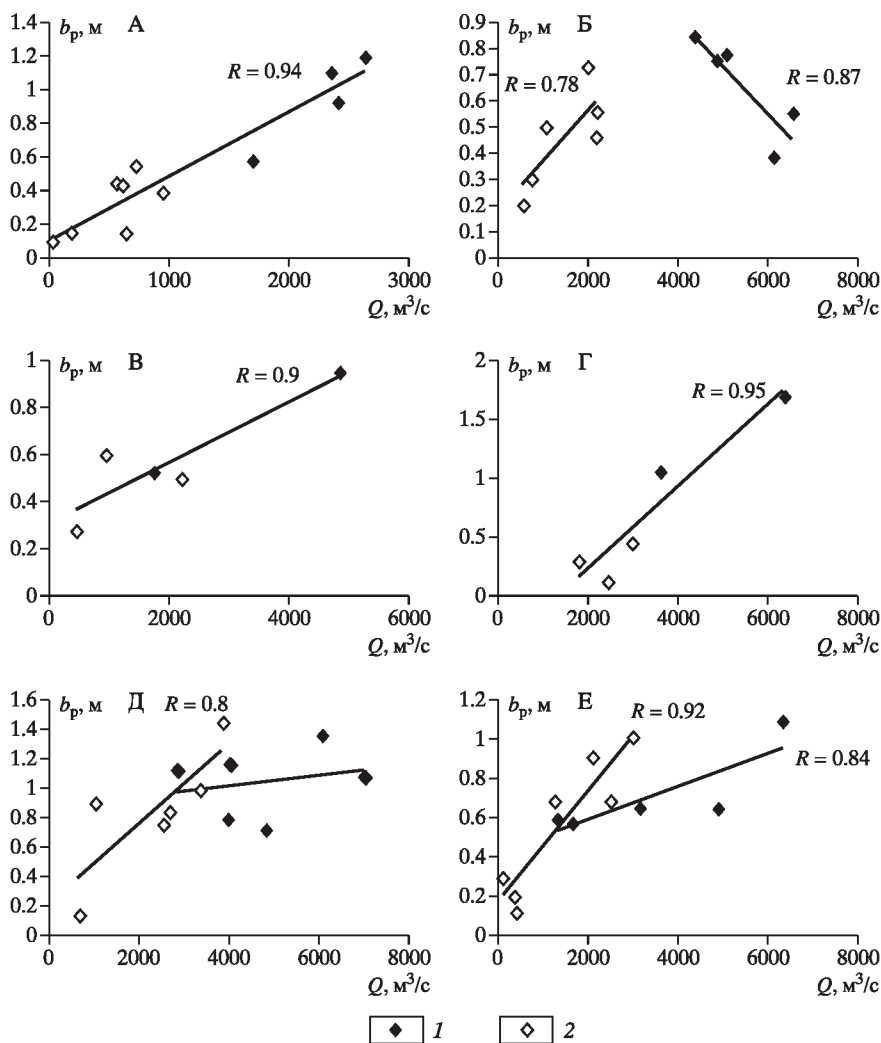


Рис. 2. Гидролого-морфологические зависимости между шириной рукавов (b_p) и меженным расходом воды в них $Q_{меж}$ (по данным измерений) для сопряженных (А), одиночных (Б), односторонних (В), чередующихся односторонних (Г), параллельно-рукавных (Д), пойменно-русловых разветвлений (Е) р. Печоры
 Рукава: 1 – основные, 2 – второстепенные

стадия характеризуется своим интервалом значений степени развитости l/L (l – длина русла по излучине, L – шаг излучины), для каждой стадии установлены однозначные связи параметров излучин со среднemaxимальными расходами воды. При этом лишь радиусы кривизны r и шаг L излучин последовательно увеличиваются от верховьев к устью по мере увеличения водности реки; другие параметры, зависящие от формы излучины, имеют более сложные связи с водностью – на некоторых участках они могут уменьшаться, а затем опять увеличиваться. Поэтому при разделении излучин по стадиям развития были установлены однозначные связи только для радиуса кривизны (r) и шага (L) излучин [21].

Сложнее обстоит дело с гидролого-морфологическим анализом разветвленных русел, для которых практически не существует общепринятых параметров. Выполненные нами на р. Печоре исследования показали, что закономерные изменения шири-

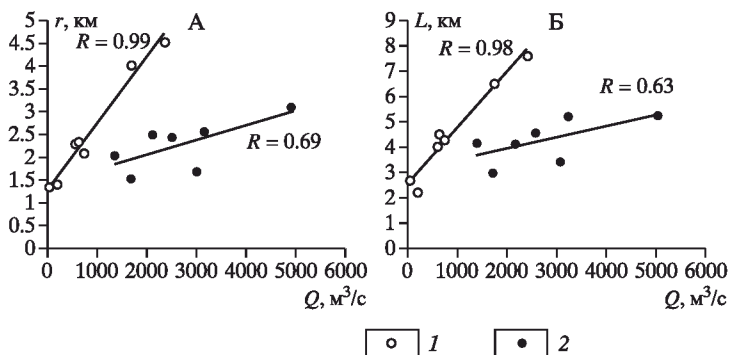


Рис. 3. Зависимости радиуса кривизны r (А) и шага излучин L (Б) от расхода воды в рукавах разветвлений р. Печоры: сопряженных (1) и пойменно-руслowych (2)

ны рукавов в зависимости от их водности дифференцируются по типам разветвлений (рис. 2). Эти зависимости однозначны для рукавов сопряженных, односторонних и чередующихся односторонних разветвлений вне зависимости от их водности, причем главные рукава всегда более широкие. Параллельно-рукавные и пойменно-руслowe разветвления имеют неодинаковые связи $b_p = f(Q_{\text{меж}})$ для главных и второстепенных рукавов: при $Q = \text{const}$ ширина главных рукавов меньше. В одиночных разветвлениях во второстепенных рукавах ширина увеличивается с ростом их водности, в основных, наоборот, уменьшается. Главным рукавом при этом считается тот, водность которого составляет не менее 35%, а чаще больше 50% суммарного расхода воды в разветвлении, тогда как водность второстепенного составляет в большинстве случаев менее 35% и не более 50% суммарного расхода воды. В одиночных, параллельно-рукавных и пойменно-руслowych разветвлениях при одной и той же ширине водность главного рукава по сравнению с второстепенным больше.

Для излучин рукавов разветвлений р. Печоры нами были получены зависимости радиуса кривизны r и шага L от водности рукавов (рис. 3). Эти зависимости также дифференцируются по типам разветвлений. Наиболее тесные связи характерны для сопряженных разветвлений: коэффициент корреляции r равен 0.99 и 0.98 для r и L , соответственно, тогда как для пойменно-руслowych разветвлений они менее тесные. То есть, для излучин рукавов справедливы те же закономерности, что и для свободных излучин русла.

Для отдельных рек получены соотношения между относительной шириной островов B_o и шириной русла выше узла разветвления b_p , с одной стороны, и удельным среднemaxимальным расходом воды q ($\text{м}^2/\text{с}$), с другой. Однако коэффициенты в этих зависимостях на разных реках очень разнообразны, и их применение поэтому возможно только для определенной реки (или даже ее бесприточного участка). Например, для среднего и нижнего течения Лены [8] была получена зависимость

$$\frac{B_o}{B_p} = -kq + y, \quad (1)$$

в которой коэффициент k закономерно увеличивается (от -3.7 до -74.4) по разветвлениям: сопряженное $\rightarrow$ параллельно-рукавное $\rightarrow$ одностороннее чередующееся $\rightarrow$ сложное сопряженное.

Использование подобных связей позволяет определять возможные изменения морфологии разветвленных русел при увеличении (уменьшении) водности реки, однако все они получены для конкретных рек, и их можно применять только для прогнозных оценок переформирования их русел.

О возможных трансформациях разветвлений можно судить по тем их изменениям, которые происходят на отдельных этапах переформирования при периодических ко-

лебаниях водности. Сопряженные разветвления, в которых главное течение реки и преимущественное развитие получают последовательно левые–правые–левые– и т.д. рукава возле островов, следующих цепочкой друг за другом по длине реки, в многоводные периоды на всем протяжении превращаются в параллельно-рукавные разветвления с примерно равноценным развитием (по водности и морфометрическим характеристикам) правых и левых рукавов. В маловодный период сопряженное развитие восстанавливается, но с зеркальным расположением развивающихся рукавов. Подобные периодические трансформации русла отмечены на такой крупной реке, как Лена выше слияния с Алданом: на рис. 4 1974 г. фиксирует состояние русла в маловодный период, 1992 г. – многоводный, 2010 г. – начало нового маловодного цикла. Можно полагать, что при последовательном увеличении водности рек в ходе глобальных гидроклиматических изменений возможно формирование параллельно-рукавных разветвлений на Лене от с. Покровск (выше Якутска) до устья Алдана; в районе Якутска (от Табагинского утеса до Кангаласского мыса) это уже произошло. Ниже устья р. Алдана параллельно-рукавные разветвления являются преобладающим типом русла вплоть до пос. Жиганск.

Используя продолжительные ряды наблюдений за состоянием русла (карты с конца XVIII–начала XX в.) и выявляя по ним происходящие переформирования с учетом изменений водности рек и климата за эти же срезы времени, можно экстраполировать полученные связи между состоянием русла и характеристиками водности на перспективу и в первом приближении давать прогнозные оценки русловых деформаций.

При наличии Q_{ϕ} верхнего интервала (Северная Двина, Вычегда, Ока), проходящего при затопленной пойме, определяющую роль в развитии русла играют высокие половодья, приходящиеся на многоводные годы. Именно на эти периоды приходится наибольшее число случаев перемещения основного расхода воды одного рукава в другой или спрямления излучин. На р. Вычегде, русло которой слабо устойчивое и характеризуется интенсивными переформированиями, со снижения максимальных расходов воды со второй половины XVIII в. до настоящего времени наблюдается двукратное уменьшение числа подобных переформирований русла. На меандрирующих участках верхнего и среднего течения за период конец XVIII–начало XX в. спрямилось 24 излучины, за XX в. – всего 10. На разветвленном участке русла нижнего течения из 20 разветвлений переход основного течения из одного рукава в другой осу-

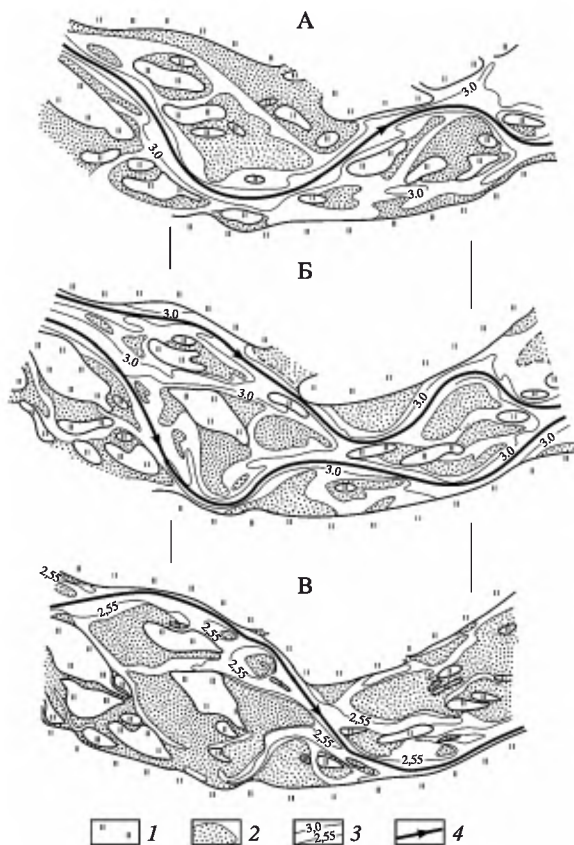


Рис. 4. Временная трансформация разветвленного русла средней Лены при периодических колебаниях водности реки в 1974 (А), 1992 (Б) и 2010 гг. (В)

1 – пойма, 2 – прирусловые отмели, 3 – изобаты, 4 – положение главного течения реки

существовал за рассматриваемое время в 15, из них 10 случаев пришлось на период конец XVIII–начало XX в. и только пять – на XX в. (причем в двух случаях перераспределение стока было осуществлено искусственно, хотя и с использованием естественных тенденций). На Северной Двине на многоводный период конца XIX–начала XX в. приходится самое масштабное за последние столетия перестроение русла – прорыв серии излучин в районе с. Красноборск [20] и его трансформация в разветвление.

Применение QI -диаграмм для прогнозных оценок русловых преформирований

QI -диаграммы отражают условия формирования русел рек в различных природных условиях. Для рек Севера ЕТР (рис. 5) она характеризует формирование русел, сохранившихся до сих пор в условно-естественном, ненарушенном в результате хозяйственной деятельности, состоянии. Точки, соответствующие различным типам русла, распределились в поле диаграммы таким образом, что меандрирующим руслам отвечают наименьшие мощности потока (минимум произведения QI), а разветвленным руслам – наибольшие мощности, причем более сложные формы разветвлений формируются при больших мощностях потока. Для рек Севера рассмотрен один из возможных сценариев изменения водности. Отмечающиеся тенденции в изменении климата, согласно этому сценарию, вызовут общее повышение водности рек на севере Европейской территории России в течение XXI в. на 10–15% [2, 3]. При увеличении стока рек в данном регионе произойдет, в одних случаях, усложнение форм русла (например, за счет образования вторичных разветвлений в рукавах), в других возможна смена морфодинамического типа русла: формирование разветвлений на относительно прямолинейных участках, трансформация односторонних разветвлений в параллельно-рукавные, массовое спрямление крутых (петлеобразных и сегментных) излучин и образование на их месте относительно прямолинейного русла или, при врезании реки, превращение во врезанные излучины. Возможные пути подобных трансформаций показаны на рис. 5 стрелками.

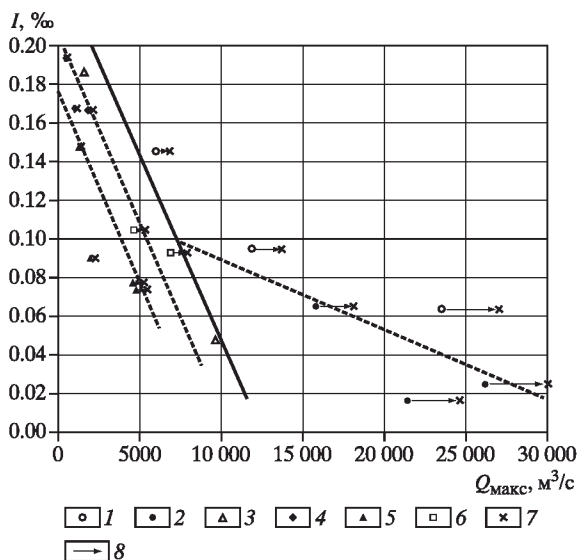


Рис. 5. QI -диаграмма для рек Севера ЕТР и прогнозная оценка изменения типов русел при увеличении $Q_{\max}$ на 15%
Разветвленные русла: 1 – параллельно-рукавные, 2 – одиночные и односторонние разветвления; извилистые русла: 3 – врезанные, 4 – петлеобразные и сегментные; 5 – пологие и прорванные излучины; 6 – прямолинейное неразветвленное русло; 7 – положение точек, соответствующее увеличению $Q_{\max}$ на 15%; 8 – стрелки, показывающие смещение прогнозных точек относительно современного положения

но-рукавные, массовое спрямление крутых (петлеобразных и сегментных) излучин и образование на их месте относительно прямолинейного русла или, при врезании реки, превращение во врезанные излучины. Возможные пути подобных трансформаций показаны на рис. 5 стрелками.

Использование QI -диаграмм возможно для прогнозирования трансформации русел рек, подверженных антропогенным воздействиям как непосредственно на русла, так и на факторы русловых процессов (гидроузлы, разработка карьеров, сплошное выправление и т.д.). При этом в русловом режиме реки происходят изменения, аналогичные естественным (природным), но в значительно более короткие сроки. Поэтому смена условий при антропогенном воздействии может рассматриваться как модель влияния возможных климатических изменений на русло реки. В “новых” условиях ниже плотин ГЭС русла рек трансформируются

на участках большой длины вниз по течению. Например, за годы эксплуатации Новосибирской ГЭС на р. Оби (с конца 50-х гг. XX в.) в нижнем бьефе произошли существенные русловые переформирования, выразившиеся во врезании реки, уменьшении уклонов и росте глубин. Снижение величины Q_{ϕ} во время половодья и увеличение Q_{ϕ} в меженный период отчетливо проявилось в постепенном уменьшении числа рукавов, а на 100-километровом участке ниже г. Новосибирска – к смене сопряженных разветвлений пологими излучинами русла. Лишь там, где в отмирающих рукавах разрабатывались крупные карьеры стройматериалов, разветвления сохранились [22]. На других участках Оби проявляется тенденция к изменению преобладающего типа русла – разветвленного на прямолинейное. Это характерно для р. Оби у г. Новосибирска (влияние регулирования стока гидроузлом), нижнего течения р. Томи и нижней Катуни, где широкое развитие получила разработка карьеров и сплошное выправление русла по трассе судового хода.

Заключение

Все методы оценки русловых деформаций основываются на связях морфометрических характеристик и морфологических параметров русла с водностью рек. Исследования русловых процессов прошлого и настоящего позволяют давать прогнозную оценку деформаций в будущем с учетом прогнозируемых колебаний водности. При этом, однако, возникает ряд трудностей, связанных с многофакторностью русловых процессов, региональными различиями русловых переформирований на реках, антропогенными воздействиями на реки (массовая разработка карьеров, регулирование стока гидроузлами, выправительные и дноуглубительные работы на водных путях, водозабор из рек в больших объемах и др.). Экстраполяция гидролого-морфологических зависимостей, использование QI -диаграмм не учитывают сток наносов, соотношение в нем взвешенной и влекомой составляющих, устойчивость русел, направленные вертикальные деформации и, наконец, происходящие благодаря им изменения уклонов. Все это составляет первоочередную задачу дальнейших исследований при разработке прогнозов русловых процессов в условиях глобальных изменений природной среды, климата и крупномасштабных антропогенных воздействий на реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.
2. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометиздат, 1980. 352 с.
3. Глобальное потепление. Доклад Гринпис / Дж. Деггер. М.: Изд-во МГУ, 1993. 272 с.
4. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
5. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
6. Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В. и др. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
7. Чалов Р.С. Русловые исследования. М.: Изд-во МГУ, 1955. 106 с.
8. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
9. Leopold L.B., Wolman M.G. River channel patterns – braided, meandering and straight // U.S. Geological Survey Professional Paper. 282-B. 1957. P. 1–85.
10. Смирнова В.Г. Гидролого-морфологический анализ разветвленных русел рек Алтайского региона: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. 20 с.

11. Чалов Р.С., Резников П.Н. Сток наносов и условия формирования русел на реках бассейна Северной Двины // Геоморфология. 2005. № 2. С. 73–85.
12. Борщенко Е.В., Чалов Р.С. Региональный анализ условий формирования речных русел с разным морфодинамическим типом (на примере рек российской части бассейна Амура) // Геоморфология. 2011. № 1. С. 30–37.
13. Баровский Н.А. Гидролого-морфологическая оценка условий формирования и трансформации широкопойменных русел: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2008. 25 с.
14. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
15. Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н. и др. Палеогидрология нижней Вычегды в позднеледниковье и в голоцене // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1999. № 5. С. 35–42.
16. Сидорчук А.Ю. Основные результаты палеогидрологического исследования палеорусел перигляциальной зоны последнего оледенения Русской равнины // Маккавеевские чтения – 2003. М.: Геофак МГУ, 2004. С. 62–70.
17. Сидорчук А.Ю. Малые староречья на поймах малоизученных рек как показатель этапа пониженной водности // Маккавеевские чтения – 2009. М.: Геофак МГУ, 2010. С. 64–80.
18. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Климатические изменения стока воды на южном склоне Восточно-Европейской равнины в позднеледниковье // Древние и современные долины и реки: история формирования, эрозионные и русловые процессы. Волгоград: Перемена, 2010. С. 118–141.
19. Экспериментальная геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1969. Вып. 2. 180 с.
20. Каргаполова И.Н. Реакция русел рек на изменения водности и антропогенное воздействие за последние столетия: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2006. 27 с.
21. Завадский А.С., Каргаполова И.Н., Чалов Р.С. Стадии развития свободных излуин и их гидролого-морфологический анализ // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2002. № 2. С. 17–22.
22. Беркович К.М., Виноградова Н.Н., Завадский А.С. и др. Нижний бьеф Новосибирской ГЭС в прошлом, настоящем и будущем (опыт исследования формирования природно-техногенной системы) // Эрозия почв и русловые процессы. М.: МГУ, 2008. Вып. 16. С. 132–147.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
11.01.2013

METHODS OF RIVERBED PROCESSES FORECASTING UNDER CHANGING WATER CONTENT OF THE RIVER

E.A. L'VOVSKAYA, R.S. CHALOV

Summary

The main methodical approaches of riverbed processes forecasting under increase/decrease of water content due to climate changes and human impact are analyzed. The authors estimate the workability of hydrologic-morphologic dependences. The relations of radii and wavelengths of meanders with water discharges are most elaborated, while such common correlations for braided channels are practically absent. The possibilities of the *QI*-diagrams use for the evaluation of the riverbed transformation due to changes of the factors affecting channel processes are shown. The main difficulties in further forecasting are formulated, in particular the lack of more or less reliable scenario of water content changes; the important aims are the validation of the most reasonable scenario, its application for channel processes forecasting for certain rivers, further estimation of hazardous consequences of channel processes.