

Е. В. БОРЩЕНКО, Р. С. ЧАЛОВ

Московский государственный университет

РУСЛОФОРМИРУЮЩИЕ РАСХОДЫ ВОДЫ И МОРФОДИНАМИКА РУСЕЛ РЕК РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА АМУРА

Определены условия прохождения руслоформирующих расходов воды на реках бассейна Амура (российская часть). Выполнено районирование территории бассейна. Установлено, что условия прохождения руслоформирующих расходов воды на реках в определенной мере отражаются на распространении русел разных морфодинамических типов.

Ключевые слова: руслоформирующие расходы воды, морфодинамика русла р. Амур.

We determined the passage conditions of channel-forming water flow rates on the rivers within the Amur basin (the Russian part). A regionalization of the basin's territory was carried out. It was found that the passage conditions of channel-forming water flow rates on the rivers have some influence on the distribution of channels of different morphodynamical types.

Keywords: channel-forming water flow rates, Amur river channel morphodynamics.

Руслоформирующие расходы воды — одно из условий, определяющих особенности руслового режима рек и развития русловых деформаций на разных структурных уровнях — от русла в целом до микроформ руслового рельефа. Поэтому они представляют собой важнейшее положение теории географического русловедения, позволяющее выявить пространственные закономерности проявлений русловых процессов [1–3] и определить фазу режима, в которую следует выполнить работы по регулированию речных русел (управлению русловыми процессами) [4].

В 1970-е—начале 1980-х гг. в соответствии с методикой Н. И. Маккавеева [1] руслоформирующие расходы воды были определены практически для всех рек СССР. Это позволило установить географические закономерности их прохождения и разработать для всей территории страны соответствующую схему районирования [5], вошедшую в виде врезки в карту «Русловые процессы на реках СССР» [6].

ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Напомним, что, согласно Н. И. Маккавееву [1, 7], руслоформирующими являются такие расходы воды, которые за многолетний период (20–25 лет) оказывают наиболее существенное воздействие на русло и при которых проходит наибольший сток наносов. Им соответствуют максимумы функции $Q_{\phi} = \max [f(\delta Q^m IP)]$, где Q — среднее значение интервала расходов воды; P — его повторяемость; I — уклон; δ — коэффициент, учитывающий кинематический эффект при затоплении поймы и зависящий от ее ширины (вводится с момента выхода воды на пойму); m — коэффициент, зависящий от состава руслообразующих наносов ($m = 2$ на песчаных реках, $m = 2,5$ — на песчано-галечных, $m = 3$ — на галечных и галечно-валунных). Именно этот подход положен в основу расчетов Q_{ϕ} и разработки схемы районирования территории СССР по условиям прохождения руслоформирующих расходов воды. При этом использовались данные по гидрологическим постам, наблюдения на которых проводились не менее 20–25 лет, охватывая циклы повышенной и пониженной водности.

За последующий временной отрезок количество гидрологических постов, удовлетворяющих требованиям методики (20–25-летний ряд наблюдений), существенно возросло. Уже это обстоятельство объясняет необходимость повторного проведения расчетов и уточнения схемы районирования. Кроме того, были предложены две модификации методики Н. И. Маккавеева, связанные с введением численных значений коэффициентов m и σ .

Первая обусловлена тем, что показатель степени m в расчетной формуле входит в двучлен $Q^m I$, определяющий зависимость величины Q_{ϕ} от стока наносов [8, 9]. Определение показателя по зависимости $R = f(Q^m)$ позволяет существенно уточнить результаты расчетов, причем его изменение может привести к образованию нового или исчезновению одного из максимумов расчетного произведения, что, естественно, сказывается на достоверности определения руслоформирующих расходов. С увеличением параметра m возрастают абсолютные значения максимума произведения. Действительно, при укрупнении руслообразующих наносов приоритетными становятся расходы во время половодий и высоких паводков, более активно влияющие на русловые переформирования, чем меженные.

Вторая модификация связана с повышением уровня ввода коэффициента σ . Очевидно, что влияние поймы на условия руслоформирования сказывается тогда, когда ее затопление сопровождается образованием транзитного пойменного потока, взаимодействующего с русловым [10]. Поэтому σ следует вводить, если уровень воды на 0,5–1 м превышает отметки поймы, а не с момента достижения ее бровок.

С учетом этих обстоятельств выполнены определения Q_{ϕ} и разработаны схемы районирования территорий Украины [8, 9], Алтая [11], бассейнов Дона [12] и Волги [13, 14], исходя из условий прохождения руслоформирующих расходов воды. Эти схемы позволяют, с одной стороны, использовать уточненные данные о Q_{ϕ} для инженерных расчетов при разработке мероприятий по регулированию русел, а с другой — давать более обоснованную оценку руслового режима рек при решении гидроэкологических и других задач.

Детальные обоснования понятия «руслоформирующий расход», методики его определения и принятые модификации были раскрыты в публикациях [3, 15]. В настоящей статье приводятся результаты такой работы, выполненной для рек бассейна Амура. Выбор объекта исследований определялся комплексом проблем, обусловленных опасным проявлением русловых процессов в условиях специфического дальневосточного типа водного режима, и возникающими неблагоприятными экологическими ситуациями, распространение или локализация которых во многом зависит от условий прохождения руслоформирующих расходов воды.

РУСЛОФОРМИРУЮЩИЕ РАСХОДЫ ВОДЫ НА РЕКАХ БАСЕЙНА АМУРА

Определение Q_{ϕ} выполнено по данным наблюдений на 123 гидрологических постах российской части бассейна Амура (ранее проведенное районирование основывалось на материалах 48 постов [16]) (см. таблицу).

Расчет уточненного значения коэффициента m производился по зависимости $R = f(Q^m)$, где R — расход взвешенных наносов, Q — соответствующий расход воды. Обязательное условие для ее получения — период наблюдений за стоком наносов и воды не менее 20 лет. Этому условию в бассейне соответствует 30 постов. Аппроксимация графиков показала, что величина m варьирует от 1,45 до 2,5. На основе полученных значений проведено районирование территории бассейна Амура по показателю степени m . По этим значениям бассейн разделен на группы районов (всего их семь): первая — от 1,4 до 1,7; вторая — от 1,71 до 2,0; третья — более 2,1.

Установлено, что величина m зависит от крупности руслообразующих наносов, которая, в свою очередь, зависит от рельефа: горный и расчлененный рельеф обуславливает большую крупность наносов на реках и, соответственно, увеличение значения m . Поэтому границы районов с разными значениями показателя m во многом совпадают с контурами основных типов рельефа. Так, район, охватывающий бассейны рек Ингода, Чита, Никишка и их притоков, имеет самые высокие значения m — от 2,15 до 2,5. Здесь реки протекают по горным территориям Забайкалья (хребты Яблонный, Черского и др.), являются, как правило, горными или полугорными с галечно-валунным составом руслообразующих наносов. Аналогичная картина характерна для среднего Амура и Зеи ниже Зейского водохранилища, юга Приморья (Сихотэ-Алинь).

В то же время реки равнинных территорий имеют песчаные русла и характеризуются самыми низкими значениями m — в пределах 1,45–1,7. К таким водотокам относятся средний и нижний Амур, большая часть Усури, Буряя, верхнее течение Зеи. Промежуточное положение по условиям формирования состава руслообразующих наносов и, соответственно, по показателю m занимают реки бассейна Амгуни: Зeya (нижнее течение), ее левые притоки, Селемджа (нижнее течение), а также реки бассейна Усури (нижнего течения) и ее правобережного притока Хора.

Для каждого района определялось среднее значение показателя степени m , принимавшегося единым для всех рек, по данным гидрологических постов которых производились в дальнейшем расчеты руслоформирующих расходов воды.

Согласно проведенным расчетам, на реках бассейна Амура выделяется от одного до трех интервалов расходов, имеющих руслоформирующее значение (см. рис. 1). Верхний наблюдается при уровнях, соответствующих наибольшему разливу воды по пойме. Средний и нижний интервалы Q_{ϕ} проходят в пределах пойменных бровок. Причем могут присутствовать как оба, так и один из них, например — только средний, соответствующий уровням непосредственно ниже бровок поймы и затопленным побочным, или только нижний, характерный для уровней межени, когда побочники обсыхают, и русловые деформации сосредоточиваются в пределах седловин перекатов. Кроме того, в горных районах на реках с галечно-валунными наносами руслоформирующие значения иногда приобретают (вне зависимости от количества Q_{ϕ} , выделенных по максимумам на кривой) экстремально высокие расходы воды, которые в бассейне Амура связаны с наиболее мощными летне-осенними дождевыми паводками.

Руслоформирующие расходы воды на реках бассейна Амура (российская часть)

Река	Гидропост	При затопленной пойме		В бровках поймы			
		верхний интервал		средний интервал		нижний интервал	
		Q, м³/с	обеспеченность, %	Q, м³/с	обеспеченность, %	Q, м³/с	обеспеченность, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Зона Б — Центральная							
Район Б-I-1 ($P_{Q_{ср}} < 7\%$)							
Ингода	Улеты	—	—	336,6	5,14	—	—
	Дешулан	—	—	419,5	1,6	—	—
	Агамановка	—	—	336,6	6,2	—	—
	Красноярово	—	—	419,5	6,7	—	—
Никишка	Агамановка	—	—	22,2	5,1	—	—
Район Б-I-2 ($P_{Q_{ср}} < 10\%$)							
Шилка	Усть-Онон	—	—	884,4	8,9	—	—
	Сретенск	—	—	947,7	9,5	—	—
	Часовая	—	—	1570,6	8,2	—	—
Урульга	Урульга	—	—	43,9	3,9	—	—
Иля	Иля	—	—	28,7	5,1	—	—
Падь Шабартуй	Дурульга	—	—	0,17	5,8	—	—
Туров	Туров	—	—	81,4	2,14	—	—
Ага	Агинское	—	—	47,8	2,15	—	—
	Разъезд 70	—	—	32,5	2,15	—	—
Кия	Кокуй-Комогорцево	—	—	23,55	1,87	—	—
Куэнга	Чернышова	—	—	38,5	5,3	—	—
	Верх. Куэнга	—	—	43,54	2,3	—	—
Чита	Чита	—	—	35,6	6,85	—	—
Нерча	Нерчинск	—	—	345,9	6,1	—	—
Онон	Оловянная	—	—	738,9	8,17	—	—
	Чирон	—	—	797,5	6,1	—	—
Унда	Шелопугино	—	—	67,8	8,3	—	—
	Ново-Ивановск	—	—	58,1	8,4	—	—
Куренга	Мироново	—	—	26,7	7,8	—	—
Черная	Черная-Сбега	—	—	241,0	7,4	—	—
Ундурга	Усть-Ундурга	—	—	70,8	5,6	—	—
Зона В — Южная							
Область В-I							
Район В-I-1 ($P_{Q_{ср}} < 10\%$)							
Верх. Борзя	Бырка	16,8	1,13	7,8	9,5	—	—
Ниж. Борзя	Михайловка	52,2	1,37	12,5	6,4	—	—
Газимур	Газимурский Завод	73,8	4,69	45,1	9,9	—	—
	Кучугай	75,2	4,7	31,4	9,2	—	—
Тайна	Тайна	11,45	2,77	6,7	9,2	—	—
Амур	Кумара	18 970,0	1,57	16 500,0	9,4	—	—
Онон	Верх. Ульхун	1155,0	3,1	836,0	7,8	—	—
	Бытэв	619,2	4,1	428,0	9,7	—	—
Кыра	Кыра	141,4	2,96	87,4	8,8	—	—
Учирка	Бытэв	38,6	1,1	23,5	6,4	—	—
Борзя	Усть-Озерная	7,9	4,5	3,4	9,8	—	—
	Борзя	8,17	3,5	4,7	9,7	—	—
Верх. Луббиа	Часовая	12,5	2,3	6,3	9,3	—	—
Уркан	Заречное	1550,0	1,5	1177,5	7,1	—	—
Тыгда	11 км от устья	63,7	0,9	42,8	8,9	—	—
Уров	Уров	20,9	5,1	8,8	9,7	—	—
Ималка	Красная Ималка	75,8	2,1	33,2	6,9	—	—
Аргунь	Олоча	587,0	5,4	276,0	9,1	—	—

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Район В-I-2 ($P_{Q_{cp}} > 10\%$)							
Зея	Зейские ворота	6890,0	4,9	3556,0	13,4	—	—
	Юбилейный	6510,0	4,4	3550,0	12,6	—	—
	Граматыха	6380,0	4,8	3600,0	13,6	—	—
	Белогорье (1954–1973)	6890,0	4,5	3720,0	12,1	—	—
	Белогорье (1974–1987)	—	—	3970,0	15,0	—	—
	Мал. Сазанка	6310,0	4,3	3605,0	12,8	—	—
Амур	Гродеково	19 800,0	5,0	16 200,0	11,9	—	—
Деп	Рычково	856,0	1,91	567,0	2,6	—	—
	Угольный	1230,0	1,99	835,0	2,8	—	—
Томь	Светиловка	433,0	4,0	345,0	10,6	—	—
Область В-II							
Зея	Бомнак	3417,5	1,9	1328,4	12,9	730,0	17,5
Ток	Николаевское	1120,0	0,7	780,0	1,8	532,0	6,7
Арга	Амкан	723,0	0,89	558,0	2,1	293,0	7,2
Бомнак	Бомнак	87,0	1,1	54,0	2,7	32,2	8,3
Брянта	Брянта	1956,0	2,2	1150,0	3,2	712,0	7,5
Унаха	Унаха	201,0	0,8	143,0	3,0	73,7	6,9
Тында	Тында	783,0	0,9	474,0	2,6	217,0	7,5
Область В-III							
Селемджа	Усть-Норск	3695,0	2,1	—	—	1268,0	18,7
	Усть-Ульма	32,30	3,2	—	—	1749,0	18,8
Завитая	Михайловка	62,3	2,2	—	—	25,5	16,4
Половинка	Болдыревка	22,2	1,9	—	—	15,2	17,1
Буряя	Усть-Ниман	2890,0	3,1	—	—	1679,0	25,6
	Гоголевский ключ	2358,0	3,6	—	—	1619,0	22,6
	Каменка	4501,0	3,5	—	—	2319,0	24,7
Долдыкан	Каменный карьер	5,01	2,7	—	—	2,34	20,3
Тюкан	Герой труда	12,65	2,9	—	—	6,78	22,1
Гарь	Гарь	13,8	5,1	—	—	8,4	15,3
Область В-IV							
Амгунь	Гуга	2430,0	3,9	1350,0	13,2	—	—
	Осипенко	2245,0	3,6	1010,0	13,5	—	—
	Удинское	2589,0	4,8	999,0	14,5	—	—
Архара	Хара	35,8	4,9	19,2	14,5	—	—
Татакан	Татакан	6,4	4,7	2,7	11,7	—	—
Хинган	Есауловка	23,78	3,4	13,1	17,6	—	—
Тырма	Аланап	687,0	3,7	377,0	16,7	—	—
Бол. Бира	Биракан	235,0	2,7	155,7	19,6	—	—
Кульдур	Известковая	66,1	2,7	27,9	15,6	—	—
Бира	Лермонтовка	56,9	3,5	26,7	18,6	—	—
Область В-V							
Район В-V-1 ($P_{Q_{ниж}} < 20\%$)							
Амур	Помпеевка	20 010,0	8,5	—	—	12 437,0	15,9
	Хабаровск	20 433,0	5,9	—	—	12 420,0	16,9
	Комсомольск	29 538,0	4,4	—	—	21 033,0	18,1
Миндукачи	Пайкан	13,25	3,2	—	—	6,7	18,6
Уссури	Кировский	1750,0	2,7	—	—	629,0	17,3
Тунгуска	Архангеловка	3690,0	3,2	—	—	2180,0	17,5
Кичмари	Малмыж	6,39	3,3	—	—	3,66	17,8
Моготуй	Моготуй	22,7	5,2	—	—	10,1	18,7
Тудагоу	Виноградовка	14,5	5,1	—	—	5,72	19,9
Улахэ	Березняки	17,8	4,6	—	—	9,7	17,6
	Кокшаровка	64,5	6,67	—	—	35,9	17,0
Табахеза	Табахеза	2,34	4,5	—	—	1,78	14,7

1	2	3	4	5	6	7	8
Лифудзин	Верх. Лужки	20,1	7,2	—	—	14,7	18,6
	Павловка	56,4	5,4	—	—	20,3	15,7
Перевальная	Перевальная	1,46	5,8	—	—	0,87	19,8
Шетуха	Крыловка	69,1	4,6	—	—	39,7	18,7
Тамга	Тамга	30,6	4,2	—	—	17,6	16,3
Лефу	Лефинка	20,3	4,8	—	—	14,1	13,9
	Халкидон	83,0	4,1	—	—	53,5	14,1
Сандуган	Снегуровка	15,5	3,2	—	—	10,2	15,8
Бейчихэ	Духовское	8,38	3,9	—	—	5,43	16,3
Синтуха	Ильинка	34,9	4,0	—	—	23,5	18,3
Иман	Сидатун	129,0	6,6	—	—	68,4	17,2
	Картун	524,0	5,4	—	—	218,0	18,1
	Гоголевка	478,0	5,3	—	—	225,0	16,8
Вак	Ракитное	389,0	5,4	—	—	218,0	15,5
Сандо-Вак	Ясная Поляна	40,5	5,7	—	—	26,8	19,9
Хор	Хор	1890,0	5,2	—	—	977,0	15,7
Пенсау	Фроловка	5,2	5,1	—	—	1,47	16,4
Шитухэ	Петровка	5,34	5,9	—	—	2,1	17,3
Майхэ	Майхэ	147,0	7,9	—	—	65,7	19,9
Суйхун	Тереховка	998,0	8,4	—	—	471,0	15,8
Черная	Черная речка	15,8	5,2	—	—	7,9	12,9
Спасовка	Дубовское	21,9	4,6	—	—	12,2	13,6
Район В-V-2 ($P_{\text{Ониж}} > 20\%$)							
Даубихэ	Нов. Гордеевка	32,4	3,9	—	—	14,6	20,3
Эльдагоу	Гродеково	21,5	4,4	—	—	14,9	22,7
Хурмули	Хурмули	64,9	4,5	—	—	23,9	34,6
Кур	Кур	2140,0	3,4	—	—	899,0	22,4
Малома	Горный	27,5	3,5	—	—	15,9	31,6
Урюпинское	Урюпинское	598,0	5,0	—	—	281,0	35,4
Бикин	Звеньева	747,0	5,4	—	—	328,0	20,1
Сидеми	Верх. Сидеми	25,9	6,3	—	—	13,6	21,5

Примечание. Индексация зон Б и В и их названия приняты в соответствии со схемой районирования СССР [5, 6].
Прочерк — данные отсутствуют.

В зависимости от особенностей гидрологического режима, а также геоморфологического типа русла (широкопойменное, врезанное, адаптированное) [2, 3] и физико-географической обстановки в каждом бассейне или речной долине на реках бассейна Амура наблюдаются три основных сочетания условий прохождения руслоформирующих расходов: $Q_{\text{ф}}$ при затопленной пойме и один $Q_{\text{ф}}$ — до выхода на пойму; $Q_{\text{ф}}$ при затопленной пойме и два $Q_{\text{ф}}$ — в бровке поймы; $Q_{\text{ф}}$, проходящий только до выхода воды на пойму.

Расчетное произведение $Q_{\text{ф}} = \max[f(\delta Q^m IP)]$ для определения руслоформирующего расхода учитывает изменения водности реки через повторяемость P наблюдающихся расходов воды, режим уклонов, крупность наносов и ширину поймы. Поэтому руслоформирующие расходы в соответствии с их количеством, обеспеченностью и соотношением с высотой поймы позволяют выявлять самые общие пространственные изменения руслового режима рек, а через них устанавливать региональные особенности морфологии и динамики русел [2].

Зависимость условий прохождения $Q_{\text{ф}}$ от гидрологического режима реки определяет возможность районирования территорий (или бассейнов) по их общему количеству, соотношению с высотой поймы (ее затопляемостью), количеству и обеспеченности $Q_{\text{ф}}$, проходящих в бровках. По этим признакам бассейн Амура разделен на зоны, области и районы, которым соответствуют определенные условия прохождения руслоформирующих расходов (см. рис. 2 и таблицу). В каждой зоне выделены области, отличительный признак которых — количество $Q_{\text{ф}}$, проходящих до выхода воды на пойму. Области, в свою очередь, поделены на районы. Фактор разделения — обеспеченность $Q_{\text{ф}}$ среднего интервала в зоне Б и нижнего интервала в зоне В в бассейне Амура.

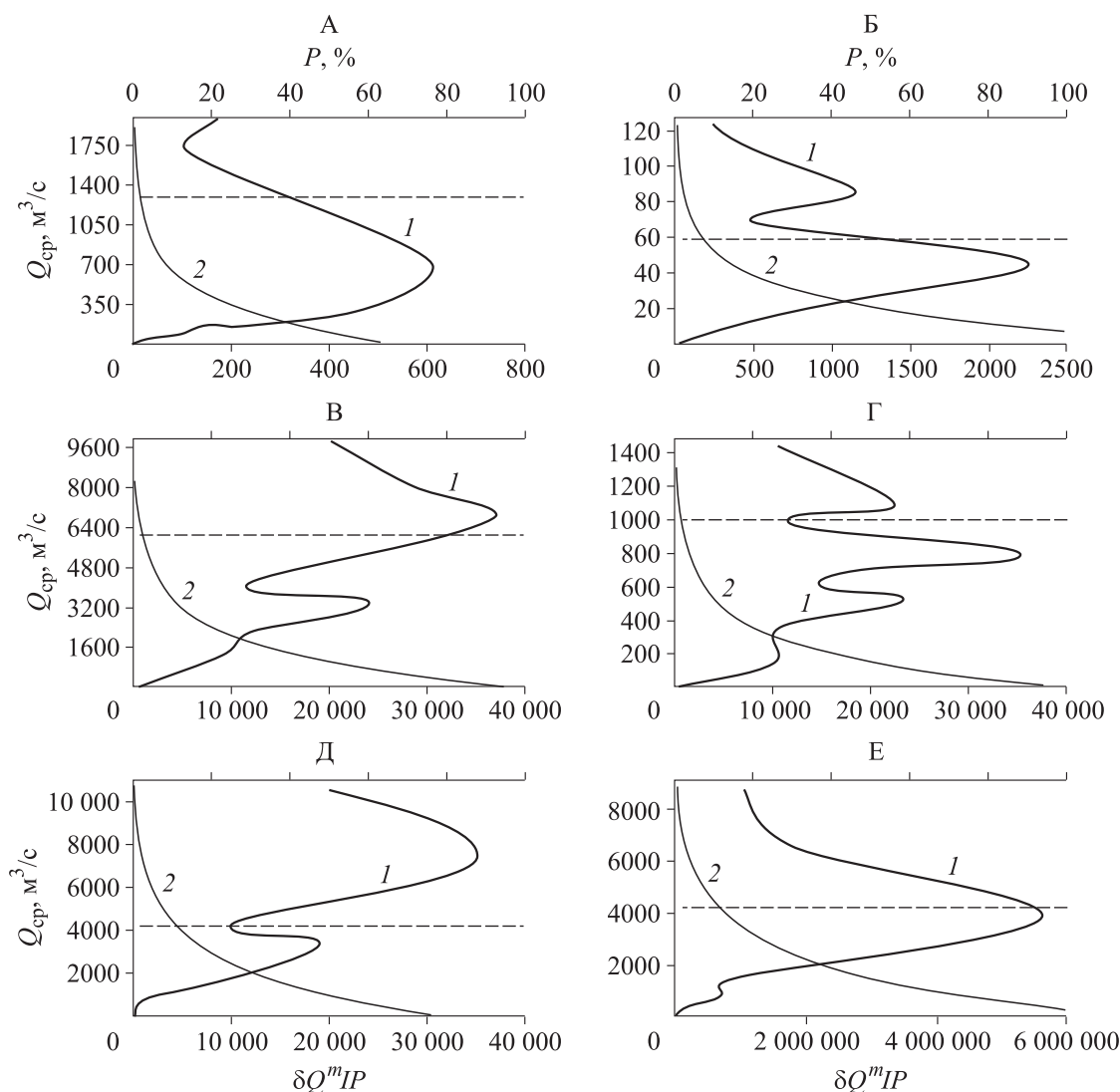


Рис. 1. Характерные типы кривых (эпюр) для определения руслоформирующих расходов воды на реках бассейна Амура (1) и кривые обеспеченности (P , %) расходов воды (2).

А — р. Онон, Бытэв; Б — р. Газимур, Газимурский Завод; В — р. Зея, Зейские ворота; Г — р. Ток, Николаевское; Д — р. Зея, Белогорье (1954–1973 гг.); Е — р. Зея, Белогорье (1974–1987 гг.). Штриховой линией обозначен расход воды, при котором происходит затопление поймы.

Зона Б — Центральная, охватывает северо-западную часть бассейна Амура (Забайкалье). Для нее характерно отсутствие Q_{ϕ} при затопленной пойме. Она представлена одной областью, поскольку здесь единственный руслоформирующий расход — средний. В высокогорной части области Q_{ϕ} имеют обеспеченность меньше 7 %, тогда как в остальной ее части — более 7,1 %. Это дает основание выделить в зоне Б районы Б-1-1 и Б-1-2.

Зона В, занимающая около 90 % территории бассейна, представляет собой гораздо более пеструю картину чередования областей и районов. Вся зона характеризуется прохождением Q_{ϕ} на реках после выхода воды на пойму и, как правило, одним (средним или нижним) Q_{ϕ} — в бровках; лишь в одной области (В-II) до выхода воды на пойму наблюдается оба Q_{ϕ} — средний и нижний. Всего выделено пять областей, две из которых делятся на районы.

Область В-I охватывает бассейны рек Онон, Газимур, Зея и делится на два района по обеспеченности среднего интервала Q_{ϕ} : В-I-1 — 10 %; В-I-2 — более 10 %. Первый включает в себя бассейны рек Онон, Газимур, верховья Амура и Борзи, второй — бассейны рек Ольдо, Уруша, Бол. Невер и частично — территорию среднего и нижнего течения Зеи. Для Зеи установлено влияние Зейского водохранилища на условия прохождения руслоформирующих расходов. Сравнение эпюр Q_{ϕ} , составленных для периодов до наполнения водохранилища (1954–1973 гг.) и после (1974–1987 гг.) по гидростату Белогорье, показало, что регулирование стока реки привело к срезке верхнего интервала Q_{ϕ} и увеличению обеспеченности среднего Q_{ϕ} (с 12,1 до 15 %).

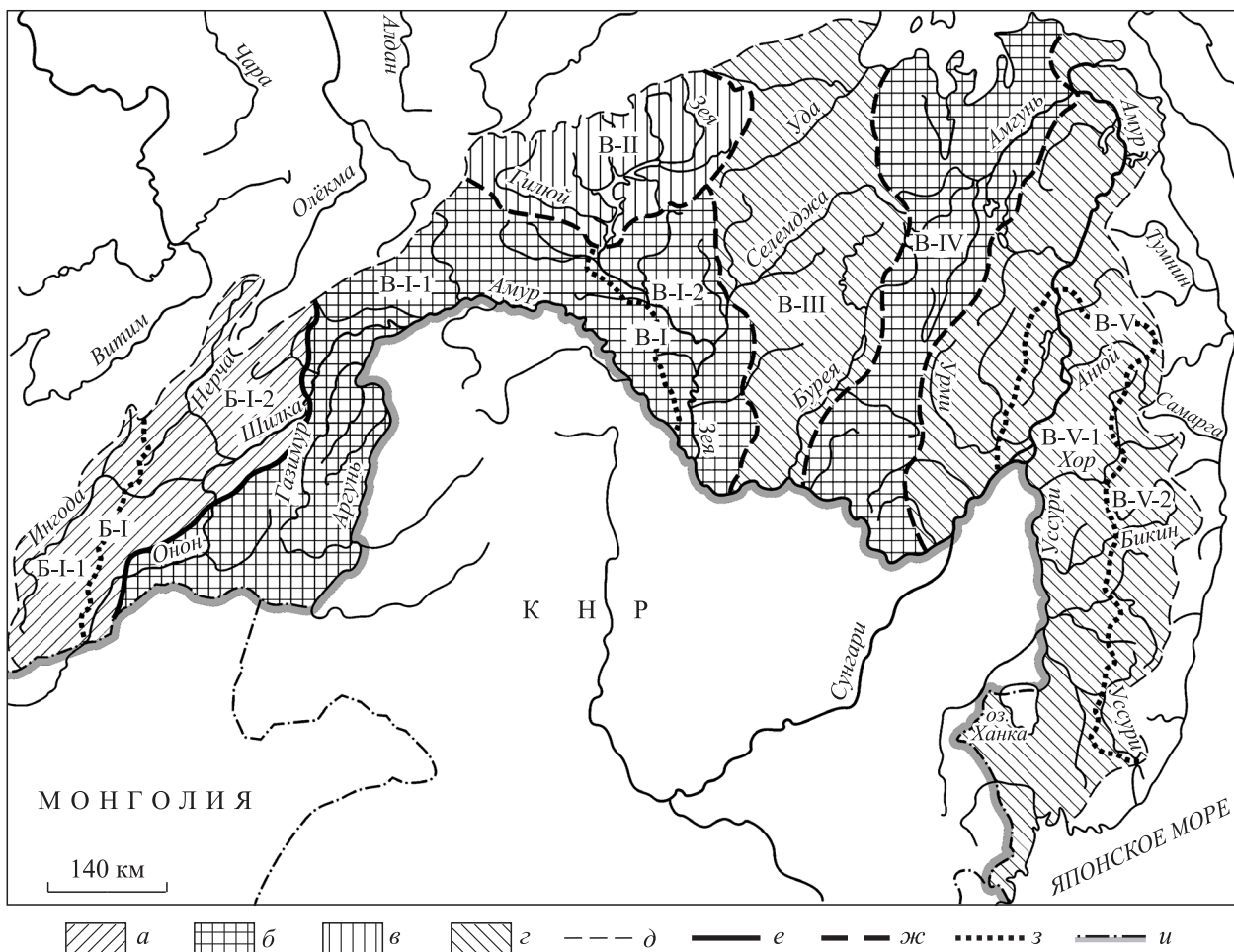


Рис. 2. Районирование бассейна Амура (русская часть) по условиям прохождения руслоформирующих расходов воды.

Области, характеризующиеся кривыми руслоформирующих расходов воды (см. рис. 1): а — вида А, б — вида Б, в — вида В, г — вида Г. Границы: д — бассейна Амура, е — зон (Б, В), ж — областей (I–V), з — районов (1, 2), и — государственная.

Реки бассейна Зейского водохранилища (верховьев Зеи) входят в область В-II. Для нее характерны все три возможные $Q_{\text{ф}}$, слабо различающиеся по своей обеспеченности. Исключение представляет главная река области — Зея, на которой $Q_{\text{ф}}$ всех трех интервалов имеют повышенную обеспеченность, например, нижнего $>17\%$ (на остальных реках $<9\%$), среднего — $12,9$ (на остальных — $3,2\%$ и менее). Эта область включает в себя реки Гилюй, Ток, Амга, Унаха, верхнее течение Зеи и др.

К области В-III относятся бассейны рек Селемджа, Бисса, Нора, Буряя, Уда, Томь, Завитая и др. Здесь нет $Q_{\text{ф}}$ среднего интервала, а значения обеспеченности $Q_{\text{ф}}$ верхнего и нижнего различаются незначительно, вследствие чего область не разделяется на районы. Бассейны рек Амгунь, Хара, Тугур и Хинган входят в область В-IV. Здесь выражены верхний и средний $Q_{\text{ф}}$, которые близки по значениям обеспеченности.

Последняя область В-V охватывает бассейны нижнего течения Амура и Уссури. В нее также входят малые реки Приморья, стекающие с Сихотэ-Алиня и непосредственно впадающие в Японское море. На эпюре $Q_{\text{ф}}$ данной области выделяется два пика — верхний и нижний. Обеспеченность $Q_{\text{ф}}$ нижнего интервала — $<20\%$ и $>20,1\%$ — дает возможность разделить область на районы В-V-1 и В-V-2 соответственно.

Сопоставление полученной схемы районирования бассейна Амура по условиям прохождения $Q_{\text{ф}}$ с физико-географической картой показывает, что границы зон, областей и районов довольно хорошо совпадают с границами основных типов рельефа. В общих чертах они также соответствуют районированию бассейна по водному режиму рек [17]. Это подтверждает зависимость руслового режима рек от физико-географических условий, в первую очередь от гидрологических факторов формирования речных русел.

ОТРАЖЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРОХОЖДЕНИЯ Q_{ϕ} В МОРФОДИНАМИКЕ РУСЕЛ

Наличие на реках одного или нескольких интервалов расходов, имеющих руслоформирующее значение, находит то или иное отражение в характере русла, особенностях его деформаций и влиянии на пойму. От количества, обеспеченности, уровня прохождения Q_{ϕ} , соотношения его с высотой поймы и условиями ее затопления зависят степень сложности морфологического облика русла, характер и интенсивность русловых переформирований. Поэтому реки каждого региона (зоны, области, района), отличающиеся по форме эпюры $Q_{\phi} = \max [f(\delta Q^m IP)]$, характеризуются определенным набором форм русла и их параметров. Например, при наличии верхнего интервала руслоформирующего расхода большинство рек имеют пойменную многорукавность, а их русла образуют пологие и прорванные излучины либо разветвляются на рукава. В других регионах русла образуют крутые излучины, а поймы консолидированы и не расчленены на отдельные массивы пойменными протоками.

В зависимости от количества Q_{ϕ} и их обеспеченности русла рек отличаются большей или меньшей сложностью морфологии и режима переформирований (деформаций), а географическая предопределенность условий прохождения руслоформирующих расходов создает предпосылки для преимущественного развития в конкретных зонах, областях или районах тех или иных морфодинамических типов русел. Однако эта зависимость проявляется в полной мере лишь при условии свободного развития русловых деформаций в том случае, если реки протекают по территориям, сложенным рыхлыми легкоразмываемыми породами, и имеют широкопойменные русла, т. е. в условиях, когда поток управляет руслом [18]. При ограниченном развитии русловых деформаций (русло управляет потоком, по [18]), что соответствует развитию врезанных русел, Q_{ϕ} проявляются только в структуре руслового рельефа и режиме его переформирований [2, 3].

При этом не следует предавать понятию «руслоформирующий расход» исключительное значение [1]. Многофакторность русловых процессов создает разнообразие условий, в которых формируются русла, и одни и те же их формы возникают и меняются под влиянием различных факторов. Поэтому абсолютно четкой связи между условиями прохождения Q_{ϕ} и распространением морфодинамических типов русла нет, и она может проявляться лишь в виде общей тенденции. На это накладывается дискретность в развитии русловых процессов [19, 20]. Ее отражением во времени служит уже само прохождение на реках от одного до трех руслоформирующих расходов. Из них нижний и отчасти средний сказываются на динамике руслового рельефа и не проявляются на уровне форм самого русла, морфология и динамика которых определяются Q_{ϕ} верхнего и также среднего интервалов и в то же время зависят от других факторов.

Нами получены данные о распределении в бассейне Амура различных морфодинамических типов русел (по классификации МГУ [2, 3] в % от длины рек); выявлена доля типов широкопойменных русел (в % от их общей длины), что в наибольшей мере отражает влияние условий прохождения руслоформирующих расходов воды на их распространение. Длина рек определялась по оси дна долины, причем учитывались только реки длиной более 200 км, что диктовалось цензом отбора рек, используемым при составлении карты «Русловые процессы на реках бассейна Амура и юга Приморского края» (м-б 1:2 500 000).

В зоне Б, в которой преобладает горный рельеф, горные реки имеют длину менее 200 км, а водотоки больших размеров характеризуются уклонами, соответствующими равнинным рекам [21]. Среди них доминируют реки с врезанным руслом (около 40 %). Среди рек с широкопойменным руслом преобладают вынужденные, пологие, крутые сегментные и петлеобразные излучины (более 72 %), встречаются одиночные, односторонние и пойменно-русловые разветвления (15 %).

Большая обеспеченность Q_{ϕ} среднего интервала в районе Б-1-2 проявляется в существенном увеличении доли сегментных крутых и петлеобразных излучин и участков с относительно прямолинейным неразветвленным руслом. Разветвления на реках зоны носят случайный характер, поэтому их доля не зависит от различий обеспеченности Q_{ϕ} в двух районах.

В зоне В, характеризующейся наличием руслоформирующего расхода после выхода воды на пойму, представлены все морфодинамические типы русел, что способствует развитию на всех реках с широкопойменным руслом пойменной многорукавности. На больших реках зоны — Амуре, Усури, Амгуни — это подкрепляет направленная аккумуляция наносов [22].

В области В-1 около 7 % длины рек относятся к горным; почти половина равнинных рек представлена врезанными руслами. Среди широкопойменных русел здесь преобладают различные типы меандрирующих. При этом заметна доля прорванных излучин и разветленно-извилистого русла. 30 % длины рек занимают русловые разветвления, что в первую очередь связано с прохождением Q_{ϕ} верхнего интервала и достаточно высокой обеспеченностью Q_{ϕ} среднего. Характерно, что разветвления русел разных типов наиболее широко распространены в районе В-1-2, в котором обеспеченность Q_{ϕ} среднего интервала более 10 %; в районе В-1-1 (средний Q_{ϕ} имеет обеспеченность менее 10 %) разветвления встречаются только на 3,2 % длины рек.

С этим может быть связано и увеличение доли относительно прямолинейных неразветвленных участков (до 25 %). Доля излучин в данном районе довольно велика, доминируют сегментные крутые и омеговидные. Только здесь встречаются синусоидальные излучины. В районе В-I-2 с обеспеченностью среднего интервала Q_{ϕ} более 10 % это обстоятельство способствует, возможно, выравниванию долей вынужденных, сегментных крутых и петлеобразных излучин, а также снижению доли относительно прямолинейных неразветвленных участков.

В области В-II, где отмечаются все три интервала Q_{ϕ} — верхний, средний и нижний, преобладают сравнительно небольшие реки. Это делает невозможным развитие разветвленных русел (их доля — 2,3 %). В то же время здесь преобладают меандрирующие русла (особенно сегментные крутые и петлеобразные), а также вынужденные излучины: около 52 и 17,3 % соответственно.

Область В-III характеризуется двумя интервалами руслоформирующих расходов — верхним (при затопленной пойме) и нижним, причем обеспеченность последнего имеет наибольшие величины в бассейне, достигая 20–25 % и более. В таких условиях наблюдается очень высокая доля прорванных излучин (почти 24 %), достаточно велика доля разветвлений, в частности разветвленно-извилистого русла (излучины с островами у выпуклых берегов — более 10 % и пойменно-русловые — 8,5 %). Доля относительно прямолинейных неразветвленных участков в данной области такая же, как и в Б-II.

В то же время здесь очень велик процент вынужденных излучин (более 38 %), что связано не с условиями прохождения Q_{ϕ} , а с наличием на реках относительно узкой поймы ($B_{п} < 3b_p$, где $B_{п}$ — ширина поймы, b_p — ширина русла). Область В-IV характеризуется верхним и средним Q_{ϕ} , каждый из которых имеет достаточно высокую обеспеченность (3–5 и 11–17 % соответственно). На реках данной территории явно доминируют разветвленные типы русла (около 30 %). Чаще всего встречается разветвленно-извилистое русло. Доля излучин составляет более 34 %, причем на прорванные излучины приходится 12 %.

Область В-V — самая большая по площади и количеству рек. Для нее свойственны высокая обеспеченность как верхнего, так и нижнего Q_{ϕ} . Это определило широкое распространение здесь разветвленных (39 %), разветвленно-извилистых (более 17 %) русел и прорванных излучин (около 13 %). Характерно, что, отличаясь наличием всех типов русел, область по всем показателям близка ко всей зоне Б, за исключением сравнительно небольшой доли прямолинейных русел (менее 5 % против 11,3 %) и высокой доли сопряженных разветвлений и других разновидностей сложных разветвлений (18,5 % против 2,1). Во многом это объясняется наличием здесь крупнейших рек бассейна — Амура (среднее и нижнее течение) и Усури.

Внутри области некоторые различия прослеживаются в распространении русел разных типов в двух районах, различающихся большей (>20 %) или меньшей (<20 %) обеспеченностью нижнего интервала Q_{ϕ} . В первом из них преобладает доля прорванных излучин и относительно прямолинейных неразветвленных участков. Для области В-V отмечена самая высокая доля пойменной многоорукавости на реках всего бассейна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модификация методики определения руслоформирующих расходов воды, предложенной Н. И. Маккавеевым [1], позволила разработать уточненную схему районирования бассейна Амура по условиям их прохождения. В то же время отмеченные общие закономерности влияния Q_{ϕ} на морфологию и динамику русел нельзя назвать абсолютными из-за многофакторности русловых процессов. В некоторых случаях действие других факторов складывается с влиянием Q_{ϕ} , и тогда определяемые ими типы русла получают значительно более широкое развитие по отношению к средним показателям.

Тем не менее, они отчетливо свидетельствуют о значимости условий прохождения руслоформирующих расходов воды в формировании русла того или иного типа, и их необходимо учитывать при моделировании русловых процессов и выполнении инженерных расчетов при проектировании регуляционных сооружений, а также при проведении соответствующих мероприятий в руслах рек амурского бассейна.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (09–05–00221), научной школы (НШ-790.2008.5), а также в рамках Госконтракта с Российским НИИ водного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозии в ее бассейне. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 347 с.
2. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. — 232 с.
3. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. — М.: Литература. Культура. Искусство, 2008. — Т. 1. — 608 с.

4. **Проектирование** судовых ходов на свободных реках // Труды Центр. НИИ эксплуатации водного транспорта. — 1964. — Вып. 36. — 203 с.
5. **Русловой режим рек** Северной Евразии. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. — 386 с.
6. **Русловые процессы** на реках СССР: Карта м-ба 1:4 000 000. — М.: ГУГК СССР, 1990. — 4 л.
7. **Маккавеев Н. И., Чалов Р. С.** Русловые процессы. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. — 264 с.
8. **Ободовский А. Г., Цайтц Е. С., Чалов Р. С.** Географическое обоснование методики определения руслоформирующего расхода воды (на примере рек Украины) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 1987 — № 5. — С. 67–71.
9. **Ободовский А. Г.** Руслоформирующие расходы воды рек равнинной части Украины: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — М., 1988. — 21 с.
10. **Барышников Н. Б.** Морфология, гидрология и гидравлика пойм. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 280 с.
11. **Белоцкий К. Н., Рулева С. Н., Чалов Р. С.** Принципы районирования крупных регионов по условиям прохождения руслоформирующих расходов воды (на примере рек Алтая) // География и природ. ресурсы. — 1995. — № 3. — С. 165–169.
12. **Некос С. В., Чалов Р. С.** Сток наносов и русловые процессы на реках бассейна Дона // Геоморфология. — 1997. — № 2. — С. 60–71.
13. **Чалов Р. С., Штанкова Н. Н.** Сток наносов, руслоформирующие расходы воды и морфодинамические типы русел рек бассейна Камы // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. — Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2000. — С. 99–116.
14. **Чалов Р. С., Штанкова Н. Н.** Сток наносов, доля влекомых наносов в нем и их отражение в формах проявления русловых процессов на реках бассейна Волги // Труды Акад. проблем водохоз. наук. — 2003. — Вып. 9. — С. 195–205.
15. **Чалов Р. С.** Руслоформирующие расходы воды // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2006. — № 1. — С. 11–19.
16. **Белый Б. В., Чалов Р. С.** Руслоформирующие расходы воды и морфодинамические типы русел на реках Дальнего Востока // Геоморфология. — 1997. — № 4. — С. 58–65.
17. **Водный режим рек России и сопредельных территорий:** Карта м-ба 1:8 000 000 / Евстигнеев В. М., Сваткова Т. Г. — Новосибирск: Роскартография, 2001. — 2 л.
18. **Великанов М. А.** Русловой процесс. — М.: Госфизматиздат, 1958. — 395 с.
19. **Кондратьев Н. Е.** О дискретности русловых процессов // Проблема русловых процессов. — Л.: Гидрометеиздат, 1953. — С. 34–42.
20. **Чалов Р. С.** Дискретные и континуальные проявления русловых процессов в морфологии и динамике речных русел // Геоморфология. — 2006. — № 4. — С. 22–31.
21. **Чалов Р. С.** Горные реки и реки в горах: продольный профиль, морфология и динамика русел // Геоморфология. — 2002. — № 3. — С. 26–40.
22. **Махинов А. Н., Чалов Р. С., Чернов А. В.** Направленная аккумуляция наносов и морфология русла Нижнего Амура // Геоморфология. — 1994. — № 3. — С. 70–78.

Поступила в редакцию 7 октября 2008 г.