

Физико-географические исследования

УДК 556:551.435(045)

Г.Б. Голубцов, Р.С. Чалов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСТРОВОВ СЛОЖНОРАЗВЕТВЛЕННЫХ РУСЕЛ ВЕРХНЕЙ ОБИ И СРЕДНЕЙ ЛЕНЫ

Рассматриваются условия формирования и морфометрические параметры островов; определяемая их количеством степень разветвленности русел верхней Оби и средней Лены – крупнейших рек, различающихся по водности в 6,15 раза и по морфометрии самих русел (его ширине) в 2,5 раза, но являющимися в то же время одинаково неустойчивыми или слабо устойчивыми, характеризующимися одними и теми же морфологически сложными типами разветвлений (параллельно-рукавными, чередующимися, односторонними и одиночными, образованными многочисленными островами). Сравнение позволило установить зависимость условий формирования островов, их параметров (длины – L_o , ширины – B_o , формы в плане – L_o/B_o), их типа и количества от показателей устойчивости, размеров реки (ее водности), морфодинамического типа разветвления и положения в русле (активной или периферийной части). Полученные на основе гидролого-морфологического анализа связи показали, что зависимости формы островов L_o/B_o и степени разветвленности русла – n_o/x от степени устойчивости русла характерны для всех типов разветвлений и стадий эволюции и соответствующих им типам островов (элементарным, малым, большим островам и островным массивам). Единые зависимости параметров островов от устойчивости русел для обеих рек, несмотря на масштабные их искажения, получены благодаря учёту связи ширины русла (b_p) с его водностью (Q) введением поправочного коэффициента на размер реки, равного 2,5. Также были определены условия формирования островов удлинённой формы ($L_o/B_o > 5$), не соответствующих гидравлически оптимальному соотношению $L_o/B_o = 3 \div 4$. Выявленные закономерности и соотношения позволили уточнить ранее предложенную классификацию островов.

Ключевые слова: русловые процессы, острова, осередки, русловые деформации, разветвления, переформирования и эволюция островов, устойчивость русла.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-2-164-174

В последние десятилетия все большее внимание при изучении русловых процессов уделяется руслам рек, разветвленным на рукава. В основном оно сосредотачивается на выявлении режима деформаций разветвлений, их типизации, рассредоточении стока и обосновании методов регулирования при освоении речных ресурсов. В то же время создающие разветвления острова, как важнейший морфологический элемент разветвленного русла, рассматриваются лишь в контексте переформирования разветвлений, тогда как их морфометрические характеристики, временная трансформация, связь с водностью рек, устойчивостью русел и морфодинамическим типом самих разветвлений обычно остается вне поля зрения исследователей. На основе работы Н.И. Маккавеева [1] дано детальное описание механизма образования островов при зарастании растительностью осередков и последующая их эволюция под влиянием вновь создавшейся из-за изменений условий взаимодействия с руслом структуры потока [2-4]. В.Р. Бейкер [5] и П.Д. Комар [6] соотнесли форму островов с различиями в гидравлических сопротивлениях, оказываемых островами на поток, что в дальнейшем нашло подтверждение, во-первых, при анализе переформирования как самих островов, так и связанных с ними разветвлений [3], и, во-вторых, в статистической достоверности величины $L_o/B_o = 3 \div 4$ (L_o – длина, B_o – максимальная ширина острова) [7; 8], которая, обеспечивая минимум сопротивлений, проявляется в неизменности формы островов во времени. Впервые был проведен гидролого-морфометрический анализ островов, позволяющий получить зависимости соотношения ширины островов B_o/b_p (b_p – ширина русла выше узла разветвления) от типа разветвления [3; 9; 10], показателя n_o/x (n_o – количество островов на единицу длины русла x) – степени разветвленности от устойчивости русла, типа разветвления [11] или его суммарной (вместе с островами) ширины русла [12]. Данный анализ проводился, как правило, в связи с исследованиями динамики разветвлений, но образующие их острова, их морфология и морфометрия оставались «за скобками».

Таким образом, речные острова при огромном разнообразии их форм, размеров, условий образования слабо освещены в литературе по русловым процессам и морфологии речных русел. Задача

настоящей статьи – сравнить две крупнейшие реки, отличающиеся по водности в разы – верхнюю Обь от слияния Бии и Катунь и среднюю Лену в районе г. Якутска, но характеризующиеся широкопойменным, неустойчивым или слабоустойчивым руслом с преобладанием параллельно-рукавных и чередующихся односторонних разветвлений, и выявить влияние размеров (водности) реки и степени устойчивости (при вариации показателей) русла на условия формирования островов, их морфометрические характеристики и количество, а также уточнить морфологическую классификацию островов.

Объект и методы исследований

Объектами исследования являются сложноразветвленные русла верхней Оби от слияния Бии и Катунь до устья Чарыша и средней Лены от г. Покровска до слияния с Алданом. Их протяженность соответственно – 107 км и 147 км. Среднегодовой расход воды на верхней Оби (г.п. Фоминское, 5 км ниже слияния Бии и Катунь) равен 1150, максимальный – 5310 м³/с, на средней Лене (г.п. Табага в центре участка) – соответственно 7071 и 37000 м³/с, т. е. в 6,15 и 7,21 раз больше. Обе реки имеют широкопойменное песчаное русло, которое на Оби формируется сразу ниже слияния Бии и Катунь с полугорным галечно-валунным руслом, а на Лене – в условиях смены врезанного, также галечно-валунного русла, широкопойменным песчаным, т. е. в обоих случаях происходит изменение формы транспорта и, как следствие, состава руслообразующих наносов. При достаточно больших для таких рек уклонах (до 0,15–0,17 ‰) это обеспечивает неустойчивость или слабую устойчивость русел и их большую ширину (суммарная, вместе с островами): максимальную на верхней Оби – 3,5 км, а на средней Лене – 10,5 км (в 3 раза больше), а также формирование морфологически и динамически наиболее сложных разветвлений – параллельно-рукавных, чередующихся односторонних, многорукавных одиночных – осложненных, в свою очередь, разветвлениями второго-третьего порядков [13] и пойменными ответвлениями. В результате обе реки характеризуются наличием многочисленных островов – от элементарных, образовавшихся при зарастании осередков, до больших островов и островных массивов, сформировавшихся вследствие объединения элементарных, превращения бывших рукавов и протоков в пойменные ложбины, причленения к ним и превращения в пойму побочной и кос.

В основу работы положены материалы многолетних исследований русловых процессов на верхней Оби и средней Лене, крупномасштабные съемки русел, космические и аэроснимки, топографические и лоцманские карты, по которым определялись ширина русла b_p , максимальная ширина (B_o) и длина (L_o) островов, их количество n на единицу длины русла x (n_o/x). Типы разветвлений определялись в соответствии с морфодинамической классификацией МГУ [14]. В качестве показателей устойчивости русел приняты число Лохтина $L = d_{cp}/I$ и коэффициент стабильности Н.И. Маккавеева $K_c = d_{cp}/I * b_p$, где d_{cp} – средний диаметр руслообразующих наносов, мм; I – уклон, ‰; b_p – ширина русла в пойменных бровках, м. [12; 15]. При определении устойчивости русел обеих рек учитывалось масштабное искажение показателей L и K_c , связанное с линейной размерностью первого и зависимостью b_p от водности реки (среднегодового расхода воды Q) в выражении второго. Это обуславливает применение разных шкал для характеристики русел по степени устойчивости: для верхней Оби (неустойчивое – $L = 1,0 \div 2,5$, $K_c = 2 \div 4$; слабоустойчивое – $L = 2,5 \div 5$, $K_c = 4 \div 15$) и средней Лены (соответственно, $L = 5 \div 9,5$, $K_c = 5 \div 10$; $L > 9,5$, $K_c = 10 \div 16$) [14].

Результаты и их обсуждение

На верхней Оби от слияния Бии и Катунь до устья Чарыша происходит последовательная смена типов разветвления и морфометрических характеристик островов – их длины L_o и ширины B_o в соответствии с изменением L и K_c (табл. 1). Более сложно распределение типов русла, показателей устойчивости и параметров островов на средней Лене (табл. 2), что связано с особенностями строения долины (чередованием расширений и сужений поймы под влиянием коренных берегов, не характерным для верхней Оби).

На верхней Оби увеличение показателей устойчивости русла и последовательная смена морфодинамического типа разветвлений (что соответствует упрощению структуры разветвлений), проявляется в сокращении количества рукавов, концентрации потока в одном наиболее многоводном рукаве и, как следствие, уменьшении основного показателя – степени разветвленности русла n_o/x (рис. 1, А). На участках с параллельно-рукавными разветвлениями он составляет в среднем $n_o/x > 4$, достигает максимального значения – 6,6, затем данный показатель постепенно понижается до $n_o/x = 3$. Непосредственно перед слиянием с р. Чарышом более 80 % общего расхода воды сосредотачивается в од-

ном из рукавов, степень разветвленности сокращается до $n_0/x < 1$. Линейные размеры отдельных островов в параллельно-рукавных разветвлениях верхней Оби не превышают первых сотен метров (средняя длина – 450 м, ширина – 120 м). В основном это элементарные и малые острова, представляющие собой объединение не более двух-трех элементарных, возникших на основе отдельных осередков. Однако острова, расположенные в периферийной части русла (вдоль правого берега напротив устья р. Ануя и у левого берега выше п. Быстрого Истока), имеют существенно большие размеры и даже при малой устойчивости русла достигают нескольких километров в длину, сотен метров в ширину. Эти острова находятся вне зоны активных русловых переформирований, отделяют от реки маловодные протоки (менее 5 % от общего расхода воды в реке), бывшие 100–120 лет назад основными рукавами, но превратившиеся в пойменные ответвления и утратившие свою роль в рассредоточении стока и не оказывающие влияния на русловые деформации.

Таблица 1

Типы разветвлений русла верхней Оби, параметры русла и островов, показатели устойчивости русла

Тип разветвлений, км от слияния	B_p , м	Устойчивость русла		Степень разветвленности русла, n_0/x	Параметры островов		
		K_c	Л		L_0 , м	B_0 , м	L_0/B_0
Устьевое (дельта Катуня), 0-5	2400	3,5	3	2,7	200–2100	60–560	4,25–4,3
Параллельно-рукавные, 5 – 47	3500	2,9	2,5	1,2–6,6	110–1900	35–500	3,75–5,1
Чередующиеся односторонние, 47-75	2700	4,5	3,6	0,5–2,7	400–2300	90–780	2,9–4,4
Односторонние (двусторонние), 76-97	800	4,6	3,9	1,0–1,3	170–3600	60–950	2,4–3,7
Устьевое (дельта Чарыша), 98-105	2200	5,5	4,1	0,7–0,9	250–2000	60–450	4,1–4,4

Таблица 2

Типы разветвлений русла средней Лены, параметры русла и островов, показатели устойчивости русла

Тип разветвлений, км от устья	B_p , м	Устойчивость русла		Степень разветвленности русла, n_0/x	Параметры островов		
		K_c	Л		L_0 , м	B_0 , м	L_0/B_0
Односторонние, 1745–1725	6500	7,1–9,2	6,2–8,0	0,9–2,0	410–3200	110–600	3,7–5,9
Сложное одиночное (трехрукавное) – Покровский «разбой», 1725–1710	8000	7,0	6,4	1,5–2,2	650–3600	750–1400	4,5–5,5
Параллельно-рукавное – «разбой» Рассолода, 1710–1680	8500	4,1–6,1	3,8–5,5	2,8–4,6	300–2100	95–420	2,1–4,8
Параллельно-рукавное – Якутский «разбой», 1670–1630	10500	4,0–5,5	3,7–4,2	2,5–4,0	200–4900	50–1250	2,0–4,9
Чередующиеся односторонние, 1630–1598	7000	9,5–11,5	8,0–9,0	0,3–1,0	2600–5500	800–2000	2,5–3,2

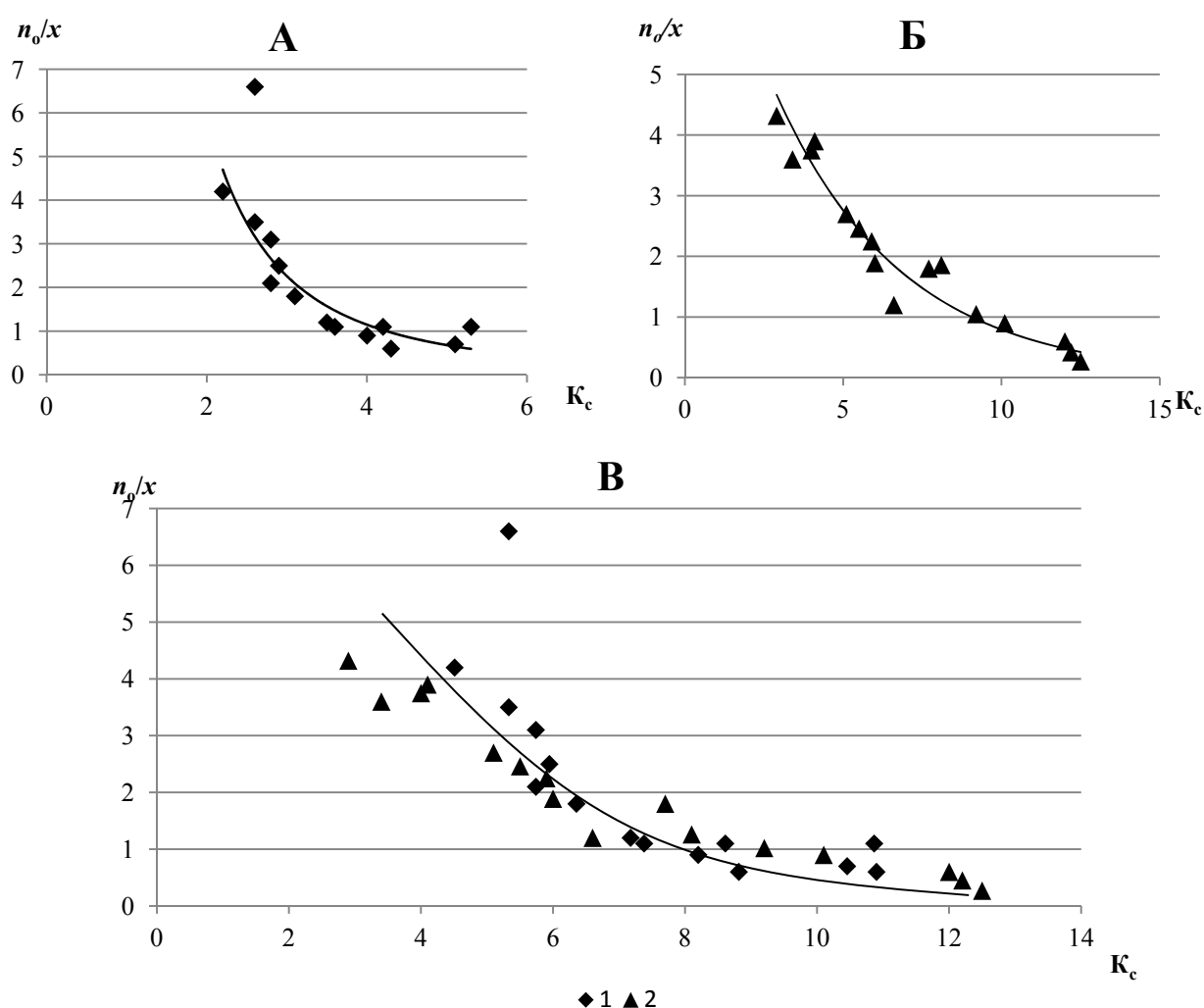


Рис. 1. Зависимость степени разветвленности русла n_0/x от его устойчивости (K_c): А – верхняя Обь, Б – средняя Лена, В – объединенный график с учетом поправочного коэффициента α на размер рек (1 – верхняя Обь, αK_c ; 2 – средняя Лена, K_c)

От разветвлений верхней Оби «разбои» (местное название сложноразветвленного русла) средней Лены отличаются своими размерами. Даже элементарные острова на средней Лене по длине и ширине сопоставимы с большими островами на верхней Оби, достигая в длину 6-8 км при ширине 1,5-3 км. При этом зависимость степени разветвленности русла n_0/x на Лене (рис. 1,Б) аналогична таковой на Оби: наименее устойчивому параллельно-рукавному руслу свойственна наибольшая разветвленность ($n_0/x = 3-4$), на участках с чередующимися односторонними разветвлениями при $K_c > 10-11$ она минимальна ($n_0/x \leq 1$). Это обусловлено большими размерами средней Лены по отношению к верхней Оби (по средней водности – в 6,15 раза, по ширине русла – в 2,5 раза) согласно пропорциональной связи ширины русла (b_p) и его водности (Q) [16; 17]. Кроме того, показатель устойчивости русла Н.И. Маккавеева $K_c = d/l * b_p$, включая в себя ширину русла, также зависит от размеров реки. Если принять, что при нормальной, каплевидной форме острова возникает соотношение $B_o = 0,4b_p$, где b_p – ширина русла или рукава перед узлом разветвления (по В.В. Иванову [18]) и ввести поправочный коэффициент на размер реки $\alpha = 2,5$ в показатель устойчивости, то увеличивая на него K_c для верхней Оби и приводя обе реки к единой шкале значений, с учетом введенных поправок получаем общую зависимость (рис. 1, В).

Помимо линейных размеров островов, важным безразмерным морфометрическим параметром островов является соотношение их длины L_o и ширины B_o – коэффициент формы L_o/B_o , величина которого тоже зависит от устойчивости русла. Наиболее изометричные в плане острова сложной формы (обычно это – большие острова или островные массивы, сформировавшиеся вследствие объединения нескольких элементарных островов) присущи участкам русла с большими значениями показателей устойчивости. Размеры таких островов, и тем более островных массивов, больше, чем сумма объединив-

шихся элементарных из-за включения в них превратившихся в ложбины на пойме бывших протоков и рукавов между этими островами, причленившихся к ним, покрывшихся растительностью побочной и кос в ухвостьях. На Оби такие острова встречаются (не считая периферийных зон русла) ниже 50 км от слияния Бии и Катуня (п. Быстрый Исток), где в русле распространены чередующиеся односторонние разветвления. В то же время простая (каплевидная, веретенообразная) форма чаще всего характеризует элементарные, малые и лишь некоторые большие острова в параллельно-рукавном русле. Острова изометричной формы, сосредотачиваясь преимущественно в периферийной части русла, находятся в зонах замедления течения и местной аккумуляции наносов, вследствие чего активизируется объединение островов при обмелении протоков, они утрачивают гидравлически оптимальное соотношение $L_o/B_o = 3\div 4$, приобретая в русле с параллельно-рукавными разветвлениями удлиненную, вытянутую вдоль реки сложную форму, а с чередующимися односторонними – также и избыточно большую ширину B_o .

На средней Лене каждый из морфодинамических типов русла характеризуется своими показателями морфометрических характеристик островов – длины, ширины и формы в плане. Наименьшими линейными размерами обладают острова в параллельно-рукавном русле. Средние значения L_o не превышают 600 м, $B_o = 150\text{--}200$ м. В то же время в Якутском «разбое» – одном из звеньев параллельно-рукавных разветвлений встречаются более крупные острова (о. Пономарев – $L_o = 4,5$ км, $B_o = 1,3$ км). В «разбое» Рассолода средние значения составляют $L_o = 470\text{--}550$ м, $B_o = 110\text{--}230$ м, минимальные – $L_{o\text{ мин}} < 300$ м и $B_{o\text{ мин}} < 100$ м. Соотношение L_o/B_o изменяется в пределах от 2,1 до 4,5, что свидетельствует о их каплевидной форме. Изометричные острова с $L_o/B_o < 2\text{--}2,5$ для параллельно-рукавных разветвлений Лены, как и на Оби, не характерны. Они встречаются на Лене уже в периферийных частях русла, образуя здесь между основным руслом с параллельно-рукавными разветвлениями и береговой поймой проточно-островную пойму, представляющую собой «конгломерат» больших островов и островных массивов, разделённых узкими пойменными протоками – в том числе бывшими в прошлом основными рукавами реки (протока Каландрашвили в «разбое» Рассолода, протока Городская в Якутском «разбое») [19]. Для участков русла с односторонними и сложными одиночными разветвлениями, соответствующих большим значениям показателей устойчивости русла, характерно увеличение линейных размеров островов ($L_o = 1800\text{--}2200$ м, $B_o = 400\text{--}600$ м). При этом большинство островов имеют обычно веретенообразную форму. Соотношение длины и ширины островов достигает максимальных для данного участка значений: в среднем $L_o/B_o = 4,6\text{--}5,2$, для отдельных островов – 6,5. Чередующиеся односторонние разветвления, расположенные в нижней части «разбоя» от п. Жатая до Кангаласского камня характеризуются наибольшими размерами островов (средняя длина 4 км, максимальная – 6 км, ширина – 1,2 км, максимальная до 1,8). Они обычно представляют собой островные массивы, разделенные маловодными и пересыхающими в межень пойменными протоками. Эти массивы характеризуются изометричной формой (часто $L_o/B_o < 2,5$).

Таким образом, линейные размеры островов зависят, как и степень разветвленности русла n_o/x , от его устойчивости и типа разветвленного русла. Это подтверждается анализом соотношения L_o/B_o (рис.2), которое на графиках дифференцируется по типам русла. Наименьшие размеры имеют острова в параллельно-рукавном русле: соответствующие им точки для обеих рек занимают нижние левые части графиков, хотя абсолютные размеры островов отличаются почти в 3 раза. В основном это элементарные и малые острова каплевидной и веретенообразной формы (при этом не учитываются большие острова и островные массивы, расположенные в периферийных частях русла, которые уже не определяют морфологию русла и его деформации), у которых показатель L_o/B_o находится в пределах 3,7–5,1 на верхней Оби и 2,04–4,6 на средней Лене, в том числе у редко встречающихся в русле этого типа больших островов (о. Пономарев в Якутском «разбое» на р. Лене, острова Фоминского узла разветвления на р. Оби). На участках русла с большими значениями показателей устойчивости на верхней Оби в односторонних и чередующихся односторонних разветвлениях большие острова также характеризуются соотношением $L_o/B_o = 2,4\text{--}4,0$. На средней Лене последовательно на графике выделяются острова в параллельно-рукавных, сложных одиночных и односторонних разветвлениях и имеющие большие размеры острова в чередующихся односторонних разветвлениях, образуя единую зависимость. Эти соотношения аппроксимируются уравнением вида $y=kx+b$, в котором коэффициент k возрастает от параллельно-рукавных к односторонним и сложным одиночным (на Лене) разветвлениям (табл.3), причем для параллельно-рукавных разветвлений, в которых преобладают элементарные и малые острова, коэффициент корреляции наибольший (0,92); чем больше размеры островов, тем больше разброс точек на графиках и меньше коэффициент корреляции (0,77).

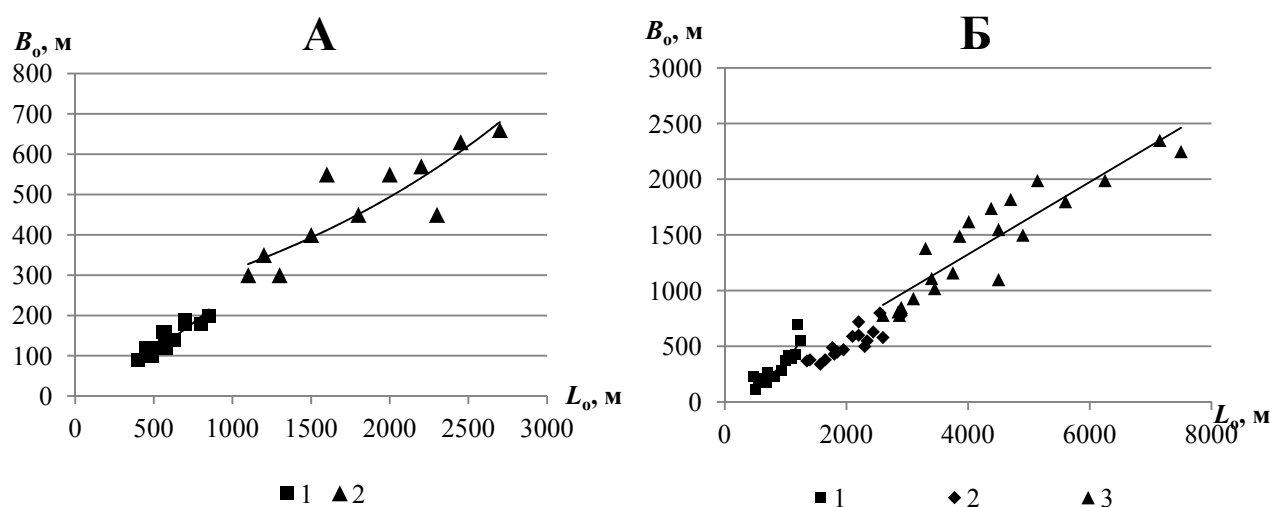


Рис. 2. Соотношение морфометрических параметров островов (L_o , B_o) при разных типах разветвлений на верхней Оби (А: 1 – параллельно-рукавные; 2 – односторонние и чередующиеся односторонние), и средней Лене (Б: 1 – параллельно-рукавные; 2 – односторонние и одиночные; 3 – чередующиеся односторонние)

Таблица 3

Уравнения связи между шириной B_o и длиной L_o островов на верхней Оби и средней Лене при разных морфодинамических типах русла

Морфодинамический тип разветвлений	верхняя Обь	средняя Лена
Параллельно-рукавные	$B_o = 0,19 L_o - 0,5$	$B_o = 0,34 L_o + 4,8$
Чередующиеся односторонние	$B_o = 0,24 L_o + 122,1$	$B_o = 0,52 L_o - 604,2$
Односторонние и сложные одиночные	$B_o = 0,32 L_o + 85,9$	

Такая же зависимость $L_o/B_o = f(K_c)$ характерна для островов верхней Оби и средней Лены (рис. 3), которые сформировались в активной зоне русла (без островов периферийных частей, где их эволюция осуществляется в условиях аккумуляции наносов и не отражает общую направленность русловых процессов). На верхней Оби коэффициент корреляции $R^2 = 0,95$, тогда как на средней Лене он достаточно низкий ($R^2 = 0,55$). На верхней Оби (рис. 3, А) при больших показателях степени устойчивости ($K_c > 5$) острова приобретают более изометричную форму, при более низких показателях устойчивости ($K_c < 3$) практически все острова становятся удлинёнными, выходя в обоих случаях за пределы определенных А.М. Тарбеевой [7] границ, типичных и, по-видимому, оптимальных для средней Оби показателей $L_o/B_o = 3 \div 4$. Несмотря на то, что размеры островов на верхней Оби существенно меньше таковых в среднем течении (между Новосибирским гидроузлом и устьем р. Томи), у большинства островов на участках русла с показателями устойчивости $3 < K_c < 5$, коэффициент формы L_o/B_o находится в интервале от $3 < L_o/B_o < 4,2$, что подтверждает выводы А. М. Тарбеевой, а также В. Р. Бейкера [5] и П. Д. Комара [6] о гидравлически оптимальном соотношении длины и ширины острова. На средней Лене аналогичная зависимость имеет следующий вид (рис. 3, Б), но на графике, помимо основного массива точек (1), относящегося к островам параллельно-рукавным, одиночным и чередующихся односторонним разветвлениям, существует обособленное поле точек (2), объединяющее шесть островов. Если их не учитывать, то коэффициент корреляции зависимости $L_o/B_o = f(K_c)$ для средней Лены составляет 0,91. Если в первом случае, как и на верхней Оби, устойчивость русла определяет форму островов: чем больше K_c , тем она изометричнее, и наоборот, при понижении K_c острова удлиняются (в большинстве случаев $L_o/B_o > 4$). Во втором случае острова не образуют единой зависимости, отличаясь сильно вытянутой, удлинённой формой $L_o/B_o > 5,5$. Такие острова встречаются как в параллельно-рукавном русле («разбой» Рассолода, Якутский), так и в русле с одиночным и односторонними разветвлениями (Покровский «разбой», п. Мохсоглоох – г. Покровск), при разных показателях устойчивости русла. Анализ положения таких островов в русле по космическим снимкам позволяет предположить, что их форми-

рование происходит в специфических местных условиях. Во-первых, они являются островами второго или даже третьего порядков, сформировавшимися в основном русле или в одном из самых крупных рукавов узла разветвления; возле таких островов не возникает местное расширение русла, так как их влияние на структуру потока ограничивается только прилегающей к острову зоной, охватывающей лишь небольшую по ширине часть русла. Во-вторых, подобная сильно вытянутая в плане форма острова ($L_o \gg B_o$) возникает в результате интенсивных переформирований и размывов острова, с течением времени обуславливающих утрату первоначальной формы.

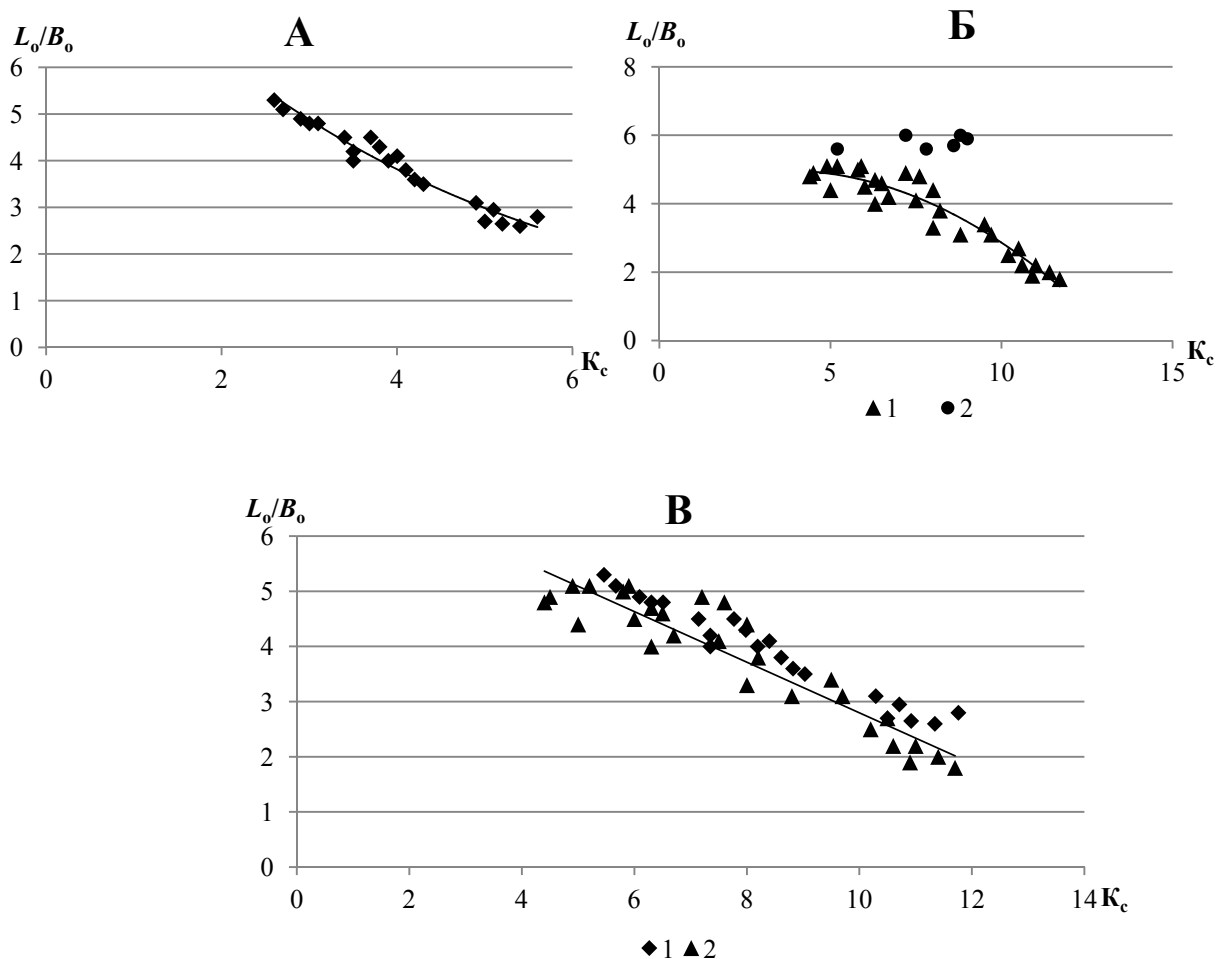


Рис. 3. Зависимость соотношения длины и ширины островов (L_o/B_o) от показателя устойчивости русла (K_c): А – верхняя Обь, Б – средняя Лена: 1 – острова в параллельно-рукавных, одиночных и чередующихся односторонних разветвлениях; 2 – острова удлиненной формы при аналогичных морфодинамических типах русла, В – объединенные графики с учетом поправочного коэффициента на размер реки: 1 – верхняя Обь; 2 – средняя Лена

При вводе поправочного коэффициента на размер реки $\alpha = 2,5$ в показатель устойчивости K_c зависимость $L_o/B_o = f(K_c)$ также становится единой для неустойчивого и слабоустойчивого русла верхней Оби и средней Лены (рис. 3,В). Коэффициент корреляции такой зависимости составляет 0,87.

Гидролого-морфологический анализ островов в неустойчивых и слабоустойчивых руслах верхней Оби и средней Лены позволяет также уточнить их классификацию [8] и условия формирования островов разных типов (рис. 4).

Элементарные острова, образующиеся при зарастании растительностью осередков, соответствуют в основном параллельно-рукавному руслу. Вследствие интенсивных русловых переформирований они либо объединяются между собой, создавая малые острова (обычно они состоят не более чем из двух-трех элементарных), сохраняя форму и оптимальное соотношение $L_o/B_o = 3 \div 4$, либо подвергаются размыву при одновременном развитии косы в ухвостье, превращаясь в небольшие острова удлиненной формы, у которых $L_o/B_o \gg 5$.

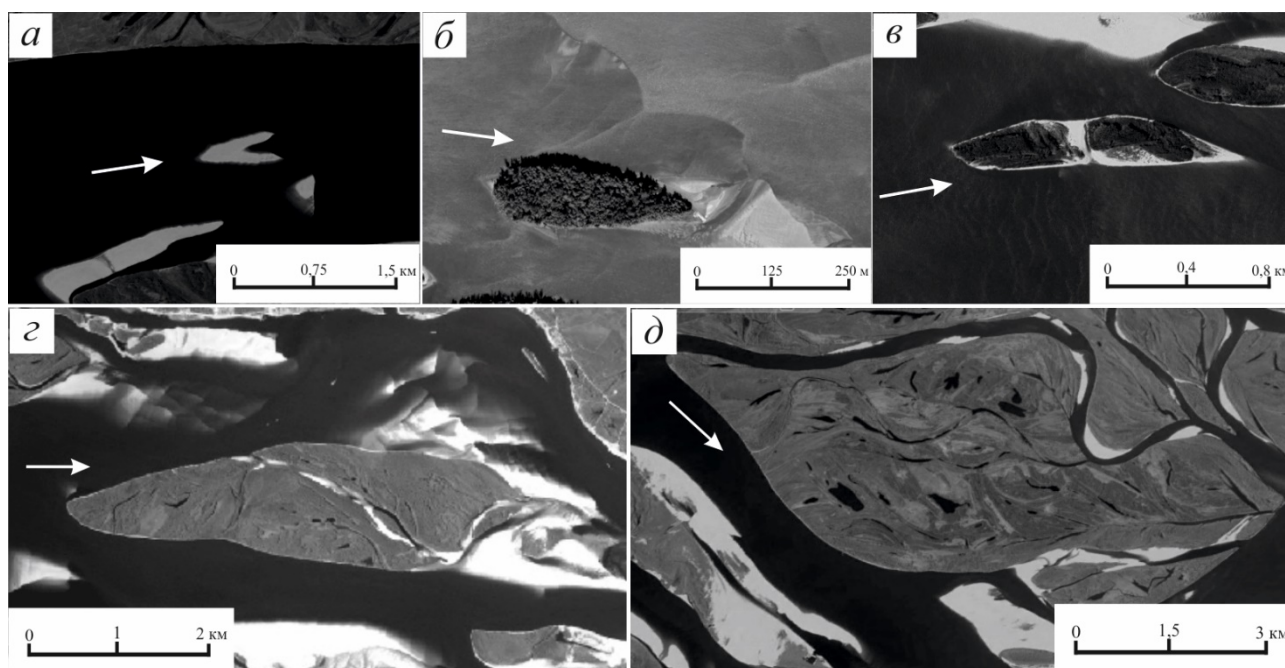


Рис. 4. Основные типы островов верхней Оби и средней Лены: а – осерёдок; б – элементарный остров; в – малый остров; г – большой остров; д – островной массив [космические снимки *Earth.Google.com*]

При увеличении показателей устойчивости (но оставаясь в категории слабой устойчивости) происходит объединение малых островов и вместе с причленением к ним побочней и кос в ухвостьях, обмелением и зарастанием межостровных протоков, и образование больших островов. Они встречаются в виде единичных форм в параллельно-рукавных разветвлениях, разделяя основные рукава реки, в чередующихся односторонних разветвлениях – в зонах замедления течения, возникающих благодаря извилистости потока среди расположенных в шахматном порядке групп островов, составляющих шпоры излучин главного потока среди них, и в одиночных разветвлениях. В односторонних разветвлениях, в том числе чередующихся, в их тыловых частях, а также в периферийных зонах параллельно-рукавных разветвлений, находящихся в условиях аккумуляции наносов и направленного горизонтального смещения русла (в частности, это характерно для верхней Оби в Усть-Ануйском узле [20] и средней Лены в Якутском «разбое» [21]) в сторону одного из берегов реки, возникают пойменные массивы, являющиеся уже следствием объединения больших островов, отмирания рукавов между ними и превращения русловых разветвлений в крупные пойменные ответвления. Таким образом, для сложно разветвлённых неустойчивых и слабо устойчивых русел можно наметить такую последовательность эволюции островов и их типизации: осерёдок (как основа возможного формирования острова) → элементарный остров → малый остров → большой остров → островной массив.

Заключение

Сравнительный анализ островов в неустойчивых и слабоустойчивых руслах верхней Оби и средней Лены проведен с учетом основных факторов формирования морфологически сложных много рукавных разветвлений – параллельно-рукавных, сложных одиночных, чередующихся и односторонних. Как на Оби, так и на Лене морфометрические параметры островов, образующих разветвления, их расположение в русле и общее количество определяются степенью устойчивости русла и его преобладающим морфодинамическим типом, что подтверждается полученными гидролого-морфологическими зависимостями. Зависимость между показателями устойчивости русла и морфометрическими параметрами островов характерна для всех типов разветвлений и стадий эволюции островов – от зарастающих пионерной растительностью осерёдков до больших островов и крупных островных массивов.

Таким образом, неустойчивость или малая устойчивость широкопойменных русел больших рек обуславливает разнообразие форм и параметров как самих разветвлений, так и их главных элементов – островов. Количество островов на единицу длины русла n_0/x зависит от степени устойчивости русла. В неустойчивых параллельно-рукавных разветвлениях n_0/x больше, чем в относительно более устойчивых одиночных, односторонних и чередующихся односторонних. Как на верхней Оби, так и на средней Лене линейные размеры островов и их форма в плане зависят от морфодинамического типа русла и его устойчивости. Параллельно-рукавным разветвлениям свойственно формирование элементарных и малых островов; в руслах других типов – их объединение в большие острова, а в зонах устойчивой аккумуляции наносов в периферийных частях русла – в островные массивы и их приращение к береговой пойме с образованием второстепенных пойменных протоков (ответвлений). Степень устойчивости русла (ее показатели) определяет форму островов, выражающую соотношение их длины и ширины (L_0/B_0). Оптимальным соотношением является $L_0/B_0 = 3\div 4$, при котором острова имеют каплевидную форму. Понижение показателей устойчивости сопровождается формированием островов веретенообразной формы ($L_0/B_0 > 5$). Дополнительным фактором формирования островов является образование возле них побочней, в том числе у оголовков, и аккумуляция наносов в виде кос в ухвостьях, вследствие чего увеличивается длина острова, а его относительная ширина сокращается. Повышение устойчивости при всех типах русла сопровождается формированием больших, изометричных в плане островов, в периферийных частях русел объединение элементарных и малых островов приводит к формированию больших, изометричных в плане, иногда со сложной конфигурацией островных массивов.

Благодарности

Исследование выполнено по планам НИР (ГЗ) НИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева и кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке РФФ (проект 18-17-00086).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 347с.
2. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ. 1979. 232 с.
3. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
4. Алексеевский Н.И., Чалов С.Р. Гидрологические функции разветвленного русла. М.: Географ. ф-т МГУ, 2009. 240 с.
5. Baker V.R. Stream-channel response to floods, with examples from Central Texas // Geol. Soc. Am. Bull. 1977. Vol. 88. № 8. P.1057-1071.
6. Komar P.D. Shapes of streamlined island on the Earth and Marth: Experiments and analyses of minimum-drag form // Geology. 1983. № 11. P.651-654.
7. Тарбеева А.М. Формирование и эволюция островов в русле Оби // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 202-208.
8. Голубцов Г.Б., Чалов Р.С. Острова верхней Оби: морфометрическая характеристика, эволюция и динамика // Геоморфология. 2019. № 1. С. 80-90.
9. Чалов Р.С. Сложноразветвленные русла равнинных рек: условия формирования, морфология и деформации // Водные ресурсы. 2001. Т. 23. № 2. С. 166-171.
10. Львовская Е.А. Ретроспективный анализ, современное состояние и оценка возможных изменений русловых процессов на больших реках севера ЕТР: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2016. 30 с.
11. Беркович К.М., Гаррисон Л.М., Рулева С.Н., Чалов Р.С. Морфология русла и русловые деформации верхней Оби // Земельные и водные ресурсы: противозерозионная защита и регулирование русел. М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 95-120.
12. Чалов Р.С., Беркович К.М., Борсук О.А., Кирик О.М., Лодина Р.В., Паклина Л.М., Рулева С.Н., Чернов А.В. Русловой режим средней и нижней Лены. М.: ВИНТИ, 1976. № 2224-96. 285 с.
13. Чалов Р.С. Факторы русловых процессов и иерархия русловых форм // Геоморфология. 1983. № 2. С. 16–26.
14. 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.
15. Русловые процессы на реках Алтайского региона. М.: МГУ, 1996. 244 с.
16. Алтунин С.Т. Регулирование русел. М.: Сельхозиздат, 1962. 352 с.
17. Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 216 с.

18. Иванов В.В. Условия формирования, гидролого-морфологические зависимости и деформации относительно прямолинейных, неразветвленных русел: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1989. 23 с.
19. Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В., Головлёв П.П., Морозова Е.А., Сурков В.В. Покровско-Якутский водный узел на р. Лене: современные деформации и управление русловыми процессами // Изв. РАН. Сер. географическая. 2019. № 6. С. 83-96.
20. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Методы улучшения судоходных условий на р. Оби // Речной транспорт. 1963. № 9. С. 45-47.
21. Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Кирик О.М., Прокопьев В.П., Андросов И.М., Сахаров А.И. Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска // Геоморфология. 2016. №3. С. 22-35.

Поступила в редакцию 07.04.2020

Голубцов Георгий Борисович, аспирант

E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru

Чалов Роман Сергеевич, доктор географических наук, профессор,

заведующий НИИ лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева

E-mail: rschalov@mail.ru

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1

G.B. Golubtsov, R.S. Chalov

COMPARATIVE HYDRO-MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF THE ISLANDS OF DIFFERENTLY BRANCHED UPPER OB AND MIDDLE LENA RIVER CHANNELS

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-2-164-174

This article is devoted to the formation conditions and morphometric features of the river islands. Also it considers the rate of branching of the Upper Ob and Middle Lena river channels. They are the largest rivers, but the Middle Lena River is bigger than the Upper Ob River by 6.15 times of total runoff and 2.5 times of width. However, both of them have unstable or weakly stable channels, characterized by parallel-sleeve, alternating, one-sided and single branchings, formed by numerous islands. Their comparison makes it possible to establish the dependence of the conditions of islands formation, their parameters (length – L_0 , width – B_0 , shape – L_0/B_0), types and number on the indicators of stability, total runoff, branching types and location in the channel (active or peripheral part). These correlations based on hydro-morphological analysis show that the shape of islands L_0/B_0 and the branching rate of the channel – n_0/x depend on the degree of stability. It is a common feature of all branching types and stages of island evolution (elementary, small, large islands and island massifs). Uniform dependencies of island parameters on river bed stability for both rivers, despite their large-scale distortions, were obtained by taking into account the connection of channel width (b_p) with its runoff (Q) by introducing a correction factor of 2.5 for the river size. Also the formation conditions of elongated islands ($L_0/B_0 > 5$), were determined. Their shape does not correspond to the optimal ratio $L_0/B_0 = 3...4$. The revealed patterns give an opportunity to clarify the previously proposed classification of the islands.

Keywords: channel processes, islands, midstream sandbanks, channel deformations, branching, deformation and evolution of islands, stability of river channel.

REFERENCES

1. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee bassejne* [River channel and erosion in its basin], Moscow: AN SSSR Publ., 1955, 347 p. (in Russ.).
2. Chalov R.S. *Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsessov* [Geographical studies of channel processes], Moscow: MGU, 1979, 232 p. (in Russ.).
3. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 2. Morfodinamika rechnykh rusel* [Ruslovedenie: theory, geography, practice. Vol. 2. Morphodynamics of river channels], Moscow: KRASAND Publ., 2011, 960 p. (in Russ.).
4. Alekseevskiy N.I., Chalov S.R. *Gidrologicheskie funktsii razvetvlennogo rusla* [Hydrological functions of braided channel], Moscow: Geograf. fakul'tet MGU Publ., 2009, 240 p. (in Russ.).
5. Baker V.R. Stream-channel response to floods, with examples from Central Texas, in *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1977, vol. 88, no. 8, pp. 1057-1071.

6. Komar P.D. Shapes of streamlined island on the Earth and Marth: Experiments and analyses of minimum-drag form, in *Geology*, 1983, no. 11, pp. 651-654.
7. Tarbeeva A.M. [Formation and evolution of the islands in the Ob channel], in *Eroziionnye, ruslovye protsessy i problemy gidroekologii*, Moscow: MGU Publ., 2004, pp. 202-208 (in Russ.).
8. Golubtsov G.B., Chalov R.S. [Islands of the upper River Ob: morphometric characteristic, evolution and dynamics], in *Geomorfologiya*, 2019, no. 1, pp. 80-90 (in Russ.).
9. Chalov R.S. [Complex branched streams of lowland rivers: formation conditions, morphology and deformations], in *Vodnye resursy*, 2001, vol. 23, no. 2, pp. 166-171 (in Russ.).
10. L'vovskaya E.A. [Retrospective analysis, current state and assessment of possible changes in channel processes on large rivers of the North of the ETR], Abstract of diss. Cand. Geogr. sci., Moscow, 2016, 30 p. (in Russ.).
11. Berkovich K.M., Garrison L.M., Ruleva S.N., Chalov R.S. [Channel morphology and channel deformations of the upper Ob], in *Zemel'nye i vodnye resursy: protivoroziionnaya zashchita i regulirovanie rusel*, Moscow: MGU Publ., 1990, pp. 95-120 (in Russ.).
12. Chalov R.S., Berkovich K.M., Borsuk O.A., Kirik O.M., Lodina R.V., Paklina L.M., Ruleva S.N., Chernov A.V. *Ruslovoy rezhim sredney i nizhney Leny* [Middle and lower Lena channel mode], Moscow: VINITI Publ., 1976, no. 2224-96, 285 p. (in Russ.).
13. Chalov R.S. [Channel process factors and hierarchy of channel forms], in *Geomorfologiya*, 1983, no. 2, pp. 16-26 (in Russ.).
14. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* [Channel processes: theory, geography, practice. T. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and conditions of formation of river channels], Moscow: LKI Publ., 2008, 608 p. (in Russ.).
15. *Ruslovye protsessy na rekakh Altayskogo regiona* [Channel processes on the rivers of the Altay region], Moscow: MGU Publ., 1996, 244 p. (in Russ.).
16. Altunin S.T. *Regulirovanie rusel* [Regulation of channels], Moscow: Sel'khozizdat Publ., 1962, 352 p. (in Russ.).
17. Grishanin K.V. *Teoriya ruslovogo protsessa* [Theory of channel process], Moscow: Transport Publ., 1972, 216 p. (in Russ.).
18. Ivanov V.V. [Formation conditions, hydraulic-morphological dependencies and deformations relative to straight, unbranched channels], Abstract of diss. Cand. Geogr. sci., Moscow, 1989, 23 p. (in Russ.).
19. Chalov R.S., Zavadskiy A.S., Botavin D.V., Golovlev P.P., Morozova E.A., Surkov V.V. [Pokrovsko-Yakutsky Reach of the Lena River: Transformation of Complex Braided Channel, Recent Deformations and Management of Channel Changes], in *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*, 2019, no. 6, pp. 83-96 (in Russ.).
20. Makkaveev N.I., Chalov R.S. [Methods of improving navigation conditions in the Obi River], in *Rechnoy transport*, 1963, no. 9, pp. 45-47 (in Russ.).
21. Chalov R.S., Zavadskiy A.S., Ruleva S.N., Kirik O.M., Prokop'ev V.P., Androsov I.M., Sakharov A.I. [Morphology, deformations and temporary modifications of the Lena river channel and its influence on the Yakutsk economic infrastructure], in *Geomorfologiya*, 2016, no. 3, pp. 22-35 (in Russ.).

Received 07.04.2020

Golubtsov G.B., postgraduate student
E-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru
Chalov R.S., Doctor of Geography, Professor
head of Makkaveev Laboratory of soil erosion and channel processes,
E-mail: rschalov@mail.ru
Lomonosov Moscow State University
Leninskiye Gory, 1, Moscow, Russia, 119991