

УДК 627.152.122

ГИДРОЛОГО-МОРФОДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ РАЗВЕТВЛЕННОГО РУСЛА НИЖНЕЙ ОБИ (В ПРЕДЕЛАХ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АО)

© 2021 г. Р. С. Чалов^{а, *}, А. С. Завадский^{а, **}, А. А. Камышев^{а, ***}, А. А. Куракова^{а, ****},
Н. М. Михайлова^{а, *****}, С. Н. Рулева^{а, *****}

^аМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail: rschalov@mail.ru

** e-mail: az200611@rambler.ru

***e-mail: arsenii.kamyshev@yandex.ru

****e-mail: a.a.kurakova@mail.ru

*****e-mail: nmmikhailova@yandex.ru

*****e-mail: mnksl@yandex.ru

Поступила в редакцию 08.02.2021 г.

После доработки 29.04.2021 г.

Принята к публикации 28.06.2021 г.

Впервые дается анализ условий формирования русла, морфологии и руслового режима нижней Оби в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), которая в этом отношении, несмотря на важное хозяйственное значение, практически не изучена и выступает белым пятном в географии русловых процессов. Геоморфологическое строение долины обуславливает формирование широкопойменного русла; ежегодно затопляемая во время половодья пойма достигает в поперечнике 50 км и лишь у г. Салехарда сужается до 10 км. Морфодинамически русло раздвоено на всем протяжении в пределах ЯНАО и Ханты-Мансийского АО (ХМАО). В начале участка сток перераспределяется по квазипоперечному рукаву-протоке Большой Нюрик между основными рукавами – Малой (левой) и Большой (правый) Обью: выше протоки сток рассредотачивается по основным рукавам в соотношении 2 : 1, в пределах участка – 1 : 2. Каждый основной рукав имеет вторичное раздвоение, а многочисленные пойменные протоки снижают водность Малой Оби до 10% от общего расхода воды. Это сопровождается изменением морфологии русла, параметров излучин, развитием крутых синусоидальных их форм, снижением интенсивности переформирований и размывов берегов. На Малой Оби встречаются также отрезки прямолинейного неразветвленного русла, образующие вставки между сериями излучин, одиночные разветвления, в нижней части – протяженный участок односторонних разветвлений и “дельтовое” разветвление при слиянии с Большой Обью. На Большой Оби преобладает прямолинейное неразветвленное русло из-за расположения вдоль правого коренного берега. Для обоих рукавов раздвоенного русла и Оби ниже их слияния дана гидролого-морфологическая характеристика русел. Приводятся полученные в половодье сведения о распределении по рукавам мутности потока. На ее изменение большое влияние оказывают размывы берегов и наносоотсасывающая роль пойменных ответвлений, особенно на Малой Оби. Полученные результаты важны для обоснования проектов водохозяйственного и воднотранспортного освоения реки.

Ключевые слова: русловые процессы, раздвоенное русло, излучины, разветвления рукавов, рассредоточение стока, мутность воды

DOI: 10.31857/S2587556621040154

ВВЕДЕНИЕ

Нижняя Обь – крупнейшая водная артерия на севере Западной Сибири, являющаяся одним из основных путей сообщения, связывающих районы нефтегазодобывающего комплекса между собой и другими регионами. Вместе с тем река – источник значительных рисков, связанных с русло-

выми деформациями. Несмотря на это, нижняя Обь, как и широтный участок ее среднего течения (между устьями рр. Вах и Иртыш), не изучена в отношении русловых процессов. Хотя для обеспечения водного пути регулярно составляются, издаются и корректируются карты реки (раньше они назывались лоцманскими), на отдельных затруднительных для судоходства участках про-

дятся систематические промеры и съемки русла изыскательскими партиями службы водного пути, их материалы имеют служебное, сугубо производственное назначение и не подвергаются научному анализу. В литературе имеются лишь общие гидрографические описания реки, в том числе ее русла (Беркович, 2012; Давыдов, 1955), инженерно-геологических условий динамики берегов (Герасимов, 1959; Трепетцов, 1973; Трофимов, 1964) и сведения о темпах их размыва на отдельных участках (Петров, 1979; Трепетцов, 1973), но во всех случаях без увязки с русловыми процессами. Только в последние годы были выполнены специальные исследования сначала на средней (2018), а затем на нижней Оби (2019) в пределах ХМАО, результаты которых частично опубликованы (Куракова, Чалов, 2020, 2019; Чалов и др., 2021). В 2020 г. были проведены исследования русловых процессов на нижней Оби в пределах ЯНАО, позволившие впервые дать комплексную гидролого-морфодинамическую характеристику, оценку деформаций русла и условий его формирования. Обь здесь разделяется на два самостоятельных рукава, разделенных широкой (до 50 км) поймой и образующих раздвоенное русло. Рукава различаются по условиям формирования русел, развитию морфодинамических типов, расщеплению стока и режиму русловых деформаций. Раздвоенное русло Оби впервые было рассмотрено в упомянутых работах авторов по выше лежащим участкам реки (Куракова, Чалов, 2020, 2019; Чалов и др., 2021). Здесь же оно является их продолжением, составляя с ними единое целое, но отличаясь рядом особенностей, иным расщеплением стока, водоносностью (из-за впадения р. Северной Сосьвы почти непосредственно по верхней границе участка и ряда других притоков), резким (почти в 5 раз) сужением дна долины у г. Салехарда. При этом именно раздвоенное русло – наименее изученная форма проявления русловых процессов, и даже само определение этого типа русла было дано уже в начале XXI в. (Смирнова, 2002).

Задачи статьи – дать оценку условий формирования и морфодинамическую характеристику русла нижней Оби в пределах ЯНАО – самого нижнего участка Оби, не освещенного пока в отношении русловых процессов; провести гидролого-морфологический анализ раздвоенного русла и русловых разветвлений, излучин рукавов и прямолинейных неразветвленных отрезков его рукавов. Это позволит, во-первых, закрыть белое пятно в географии русловых процессов и, во-вторых, завершить научное описание уникального по протяженности и морфологической сложности раздвоенного русла нижней Оби.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основе исследований – результаты натурных экспедиционных работ, проведенных в половине 2020 г., и анализа переформирований русла на основе сопоставления карт нижней Оби, изданных в 1976 и 2014 гг. (Карта ..., 2014), материалов ежегодных съемок перекатных участков (2010–2020 гг.), проводимых изыскательскими партиями, и космических снимков серий “Sentinel-2”, “Landsat 5 TM”, “CORONAKH-4A” 1969–1988 и 2018–2020 гг. Натурные исследования заключались в измерениях расходов воды и съемках скоростных полей с применением акустического доплеровского определителя скоростей течения воды ADCP типа “Sontek River Surveyor M9”. Запись и обработка полученных с ADCP данных производились с помощью программы *River Surveyor Live*. Расходы воды определялись во всех рукавах раздвоенного русла, русловых разветвлениях и большинстве пойменных проток. Одновременно отбирались пробы воды на мутность и донные наносы. Определение мутности воды осуществлялось весовым (по фактическому содержанию взвешенных наносов в пробах) и в массовом количестве оптическим (турбидиметром, в относительных единицах по рассеянию света частицами наносов в пробах) способами. Для перехода от оптической мутности к реальной весовой была получена зависимость между их показателями, полученными для одних и тех же вертикалей.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУСЛА

Река Обь в нижнем течении протекает в долине, достигающей на уровне поймы в поперечнике 50 км, что определяет свободные условия развития русловых деформаций и формирование широкопойменного русла. По правобережью днище долины ограничено уступами Полуйской возвышенности, сложенной ледниковыми и флювиогляциальными отложениями. Вдоль них расположен правый рукав – Большая Обь, определяющий преобладание относительно прямолинейного русла. Правый берег в основном залесен, и лишь местами на нем развиваются оползни и осыпи, наблюдается слабый размыв. По наблюдениям (Трепетцов, 1973), при подмыве рекой он отступает со скоростью 0.27 м/год, при сходе оползней (разовое явление) – до 47.5 м. Вдоль правого берега в отмелой полосе, занимающей иногда до половины ширины Большой Оби, русло выстилается валунами и галькой, отжимая стрежень к левому пойменному берегу и защищая берег от активного воздействия потока. По левобережью днище долины ограничивается Северо-Сосьвинской возвышенностью и уступами надпойменных террас, однако Малая Обь подходит к ним лишь изредка, не оказывая на них заметного влияния.

Широкая пойма Оби, луговая или заболоченная, высотой до 9 м над уровнем межени, сложена повсеместно песками и легкими суглинками.

Нижняя Обь относится к категории крупнейших рек. Водный режим характеризуется растянутым весенне-летним половодьем, максимальные расходы которого превышают среднемноголетние в 3–4 раза; в летне-осеннюю межень сток повышен. На весенне-летнее половодье приходится 50–55% годового стока, летне-осеннюю межень – 35–40%, зимнюю – 10–15%. Средняя продолжительность половодья – 140 дней. При высоких подъемах уровня воды затопливается вся пойма; ширина разливов достигает 50 км. Среднемноголетний расход воды в нижнем течении у с. Белогорье (ниже устья р. Иртыша) составляет 10200 м³/с, в г. Салехарде – 12800 м³/с. Максимальный расход воды в половодье в г. Салехарде – 42800 м³/с, минимальный зимний – 2000 м³/с.

Во время проведения исследований уровни половодья были близки к среднемноголетним (50% обеспеченности по гидропосту Октябрьское). Экспедиционные работы проходили в начале спада волны половодья при уровнях на 0.4–0.6 м ниже максимальных отметок, зафиксированных во второй половине мая 2020 г.; колебания уровней воды незначительны (10–15 см), что позволяет говорить об однородных гидрологических условиях и практически неизменном стоке воды. Крупные притоки, впадающие на участке – Казым (справа), Сыня (слева) – находятся в подпоре от Оби.

Годовая амплитуда уровней на нижней Оби у с. Белогорье – 12 м, у г. Салехарда – 7 м. Уклон реки в нижнем течении – 0.02‰. Непосредственно выше участка в Обь впадает слева Северная Сосьва и в конце участка у г. Салехарда справа – Полуя. Среди малых рек и ручьев выделяются вытекающие из озеровидных расширений – соров (“туманов”). Кроме того, сори (мелководные озера) изобилуют на пойме, заполняя обширные понижения в центральных и низовых частях пойменных массивов и выступая в роли естественного регулятора стока на спаде половодья.

На нижней Оби во время ледохода часто возникают ледовые заторы, однако он проходит в основном до пика половодья. Места заторов приурочены в большинстве случаев к крутым излучинам рукавов. Поэтому пойменные протоки, которые берут начало в привершинных частях излучин, наиболее многоводны, так как поток половодья, встречая возникшую ледовую плотину и обходя ее, направляется в истоки этих протоков, разрабатывая их русла.

Руслообразующие наносы – тонкопесчаные и илистые.

МОРФОДИНАМИЧЕСКИЕ ТИПЫ РУСЛА

Русло р. Оби в пределах ЯНАО на всем протяжении (до г. Салехарда) раздвоенное, сформированное меньшим по водности левым рукавом – Малой Обью (30–35% расхода воды в половодье) и более многоводным правым (65–70%) – Большой Обью, сливающимися в 70 км выше г. Салехарда. Их протяженность соответственно – 247 и 280 км (рис. 1). В начале участка большой квазипоперечный рукав – протока Большой Нюрик обеспечивает перераспределение стока между более многоводной выше по течению Малой Обью (62% общего стока в половодье) и правым рукавом Горной Обью, который ниже слияния с Большим Нюриком получил название Большая Обь. От Малой Оби ответвляется влево Малая Горная Обь, забирающая из нее 32.2% расхода воды, протяженностью 58 км; от Большой Оби в 21 км от ее слияния с Малой Обью отходит вправо протока Игорская Обь (22% расхода), составляющая вместе с Обью ниже слияния завершающее звено раздвоенного русла и сливающаяся с ним в 22 км выше г. Салехарда (устья р. Полуя).

Ширина днища долины (пойма + русло) и разлива реки в половодье выше участка (еще в пределах ХМАО) – 60 км, в створе протоки Большой Нюрик она уменьшается до 40 км. Далее вниз по течению она возрастает до 50 км, что совпадает с вторичным раздвоением Малой Оби – ответвлением от нее протоки Малая Горная Обь. У г. Салехарда (в устье р. Полуя) происходит резкое сужение днища долины до 6.5 км, и вся река собирается в едином неразветвленном русле шириной 2.6 км, проходящем вдоль правого коренного берега и образующем обтекающую (Львовская, 2016) его изгиб излучину; ширина левобережной поймы здесь около 4 км.

Русло Малой Оби лишь на трех коротких участках (п. Мужа и ниже и от с. Шурышкары до устья) проходит возле левого борта долины. Вне этих участков меандрирующее русло располагается в пойменных берегах, встречаются отдельные одиночные разветвления и одно пойменно-русловое (Азовское), разделенные сериями излучин и прямолинейных отрезков (рис. 2, табл. 1). Лишь в нижнем течении (от слияния с Малой Горной Обью) русло Малой Оби, располагаясь вдоль левого коренного берега, образует 45-км участок с односторонними разветвлениями и заключающим его “дельтовым” разветвлением (Никитина, 1989) (при слиянии с Большой Обью). Это совпадает сначала с 2–3-кратным расширением русла, а затем – с еще большим – перед слиянием с Большой Обью. По-видимому, это – следствие формирования русла низовья Малой Оби в условиях подпора от Большой Оби (ее водность в 2 раза больше, длина на 33 км меньше). Свидетельством подпорных условий в низовьях Малой Оби

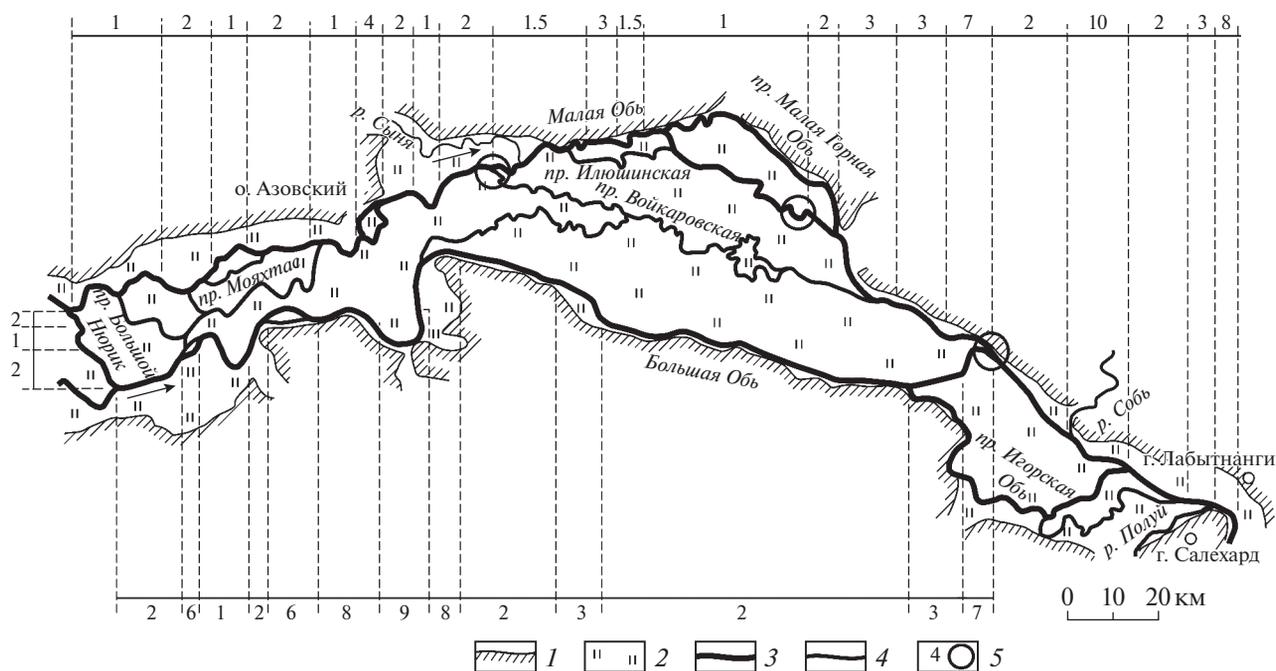


Рис. 1. Общая схема. 1 – коренные берега; 2 – пойма; 3 – рукава раздвоенного русла; 4 – пойменные протоки и притоки; 5 – положение участков русла на рис. 4, 6, 7; морфодинамические типы рукавов раздвоенного русла нижней Оби: 1 – прямолинейное неразветвленное русло; излучины: 2 – свободные, 3 – вписанные, 4 – вынужденные, 5 – обтекающие; русловые разветвления: 6 – одиночные, 7 – параллельно-рукавные, 8 – “дельтовые”, 9 – односторонние, 10 – пойменно-русловые.

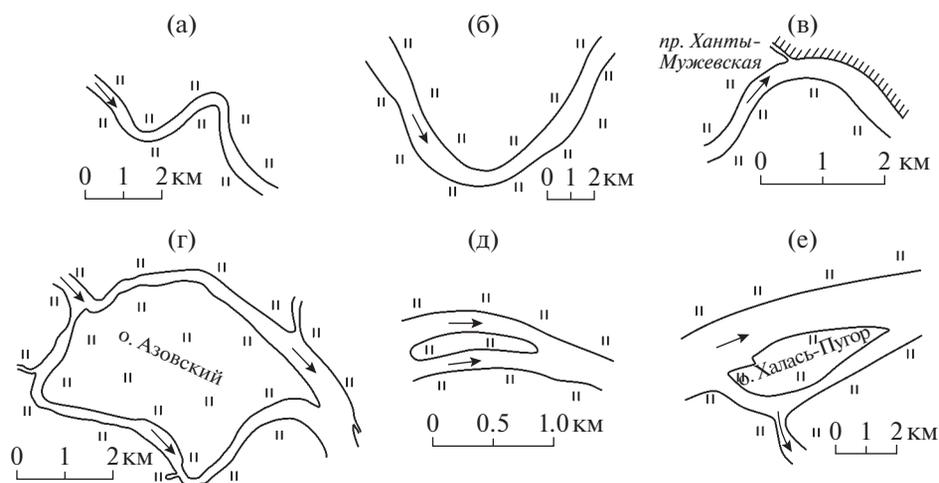


Рис. 2. Морфодинамические типы русла Малой Оби. Излучины: а) сегментная, б) синусоидальная, в) вынужденная; разветвления: г) пойменно-русловое, д) одиночное, е) одностороннее.

является морфология устьевых разветвлений – “дельта выполнения” приустьевого расширения русла Малой Оби, в которой во время половодья большой расход воды проходит в рукаве у левого берега – 20%, тогда как в судоходном вдоль стрелки – 15%. Большая Обь формирует “дельту выдвигания” в объединенную акваторию (на 6 км

ниже стрелки в узле слияния) с основным по водности рукавом вдоль стрелки (35%).

На Большой Оби превалирующим фактором, определяющим морфологию русла, является правый коренной берег на большей части рукава. В связи с этим разнообразие морфодинамических типов русла в нем меньше, чем на Малой Оби

Таблица 1. Распределение морфодинамических типов русла (по классификации МГУ (Чалов, 2017))

Характеристика		Прям. неразв.*	Излучины**					Разветвления***					Всего	
№	параметр		вын.	обтек.	впис.	св.	Σ	од.	одн.	парал.-рук.	дельт.	пойм.-русл.		Σ
Малая Обь														
1	Длина, км	87	7.5	—	—	107.5	115	7	49.5	—	12	15.5	84	286
2	% от суммарной длины	30.4	2.6	—	—	37.6	40.2	2.45	17.3	—	4.2	5.4	29.4	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	6.5	—	—	93.5	100	8.3	58.9	—	14.3	18.5	100	—
4	Количество, ед.	12	3	—	—	25	28	2	4	—	1	1	8	48
5	% от суммарного количества форм русла	25	6.3	—	—	52.1	58.3	4.2	8.3	—	2.1	2.1	16.7	100
Большая Обь														
1	Длина, км	122	—	14	20	18	52	25	45	—	8	—	78	252
2	% от суммарной длины	48.4	—	5.6	7.9	7.1	20.6	9.9	17.9	—	3.2	—	31	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	—	26.9	38.5	34.6	100	32.1	57.7	—	10.3	—	100	—
4	Количество, ед.	4	—	1	1	3	5	2	3	—	1	—	6	15
5	% от суммарного количества форм русла	26.7	—	6.7	6.7	20	33.3	13.3	20	—	6.7	—	40	100
Обь ниже слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда														
1	Длина, км	26	—	8	—	—	8	—	10	19	5	—	34	68
2	% от суммарной длины	38.2	—	11.8	—	—	11.8	—	14.7	27.9	7.4	—	50	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	—	100	—	—	100	—	29.4	55.9	14.7	—	100	—
4	Количество, ед.	2	—	1	—	—	1	—	1	1	1	—	3	6
5	% от суммарного количества форм русла	33.3	—	16.7	—	—	16.7	—	16.7	16.7	16.7	—	50	100

Примечание. * Прям. неразв. — прямолинейное неразветвленное; ** вын. — вынужденные; обтек. — обтекающие; впис. — вписанные; св. — свободные; *** од — одиночные; одн. — односторонние; парал.-рук. — параллельно-рукавные; дельт. — дельтовые; пойм.-русл. — пойменно-русловые.

(рис. 3, см. табл. 1). Коренной берег сложен моренными отложениями, вследствие чего в правобережной части русла распространены высыпки галечно-валунного материала, образующие иногда широкие каменистые подводные отмели, занимающие до трети ширины русла, а у п. Горки (Кушеватская обтекающая (Львовская, 2016) излучина) — осередки посередине реки.

Гидравлически Малая и Большая Обь связаны слабо. Поперечных пойменных протоков, обеспечивающих переток воды из Большой Оби в Малую, мало, водность их незначительна (1–2% от расхода Большой Оби в половодье), и находятся

они в верхней ее части, где она еще не подошла к правому коренному берегу. Перераспределение стока между основными рукавами происходит за счет слива вод с затопленной поймы. Вместе с тем пойменная многорукавность, связанная с Малой Обью, весьма значительна, и пойменные протоки, иногда достаточно многоводные, расчлениают прилегающую к ней пойму, забирают или, наоборот, добавляют в нее в сумме до 10–15% расхода воды и часто играют наносотсасывающую роль (например, в протоке Войкаровской при $Q = 736 \text{ м}^3/\text{с}$ мутность $s = 71.8 \text{ г/л}$; в Малой Оби ниже захода в нее — при $Q = 4124 \text{ м}^3/\text{с}$ $s = 50.6 \text{ г/л}$; в протоке Ня-

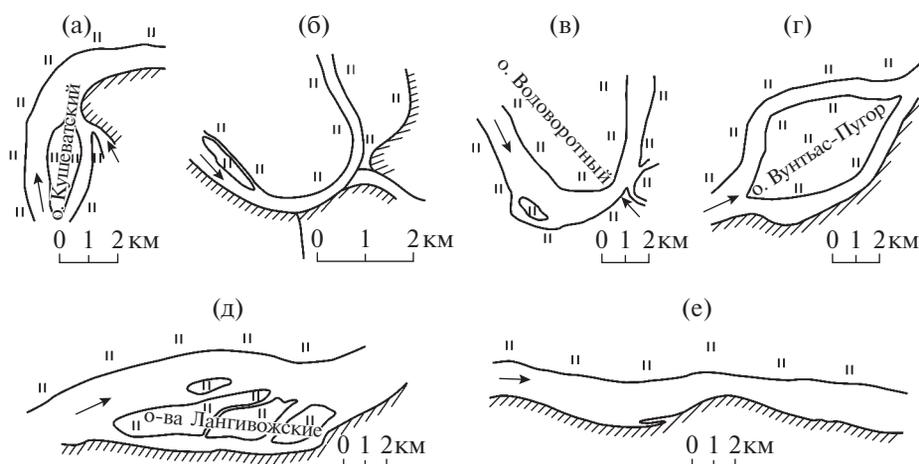


Рис. 3. Морфодинамические типа русла Большой Оби. Излучины: а) обтекающая, б) вписанная, в) свободная; разветвления: г) одиночное, д) одностороннее; е) прямолинейное неразветвленное.

нина $s = 72.5$ г/л при $Q = 389$ м³/с, тогда как на Малой Оби $s = 45.6$ г/л), так как протоки отходят от основного русла под большим углом (Маккавеев, 1955). Это определяет колебания мутности по длине Малой Оби, в отличие от Большой Оби, в которой продольные ее вариации невелики.

На Малой Оби преобладают свободные излучины (40.2% ее длины), происходит частая смена морфологически однородных участков. В трех местах, где река подходит к левому борту долины, формируются три вынужденные излучины и прямолинейное русло вдоль него. Доля относительно прямолинейного неразветвленного русла — 30.4% при общей его длине 87 км. Среди излучин встречаются синусоидальные с соотношением $r < 2.5b_p$ (r — радиус кривизны излучин, b_p — ширина русла), у которых динамическая ось потока проходит вдоль выпуклого берега, формируется местное расширение русла и возникает водоворотная зона (рис. 4). Все такие излучины (их пять) находятся между заходом и устьем протоки Малая Горная Обь, где относительная водность Малой Оби сокра-

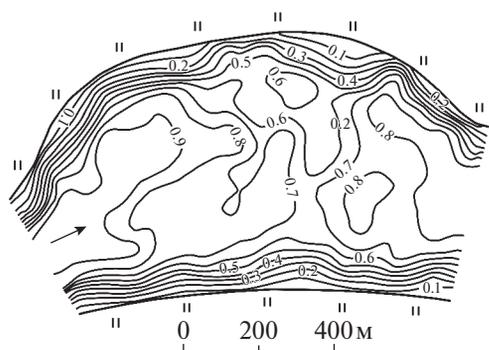


Рис. 4. Структура потока в привершинной части синусоидальной Войкарской излучины.

щается на 25%, а по отношению ко всей реке — до 11%. Степень развитости свободных излучин варьирует от 1.10 до 1.94. Число одиночных разветвлений невелико — 2.4% длины рукава. Пологие излучины ниже истоков пойменных притоков или рукавов раздвоенного русла (Большой Нюрик, Малая Горная Обь) осложнены разветвлениями 2-го порядка, образованными элементарными, или малыми, островами. Два участка с односторонними разветвлениями имеют общую длину 49.5 км (19.3%). Протяженность пойменно-руслового разветвления — Азовского — 15.5 км (5.4%); в нем правый судоходный рукав — меандрирующий, левый, более многоводный — протока Качегатка состоит из двух участков прямолинейного русла, разделенных вынужденной излучиной (оно сформировалось на перевале Малой Оби из центральной части днища долины к левому ее борту в условиях пересечения руслового и пойменного потоков во время половодья). В узле слияния с Большой Обью “дельтовое” разветвление имеет длину 12 км (4.2%).

На Большой Оби из-за преимущественного расположения вдоль правого коренного берега возрастает доля прямолинейного неразветвленного русла (местами оно осложнено одиночными разветвлениями второго порядка) — 122 км (48.4% от длины участка). Доля излучин — 20.6% (52 км). Специфическими являются две обтекающие излучины — изгибы русла вдоль выступов правого коренного берега и одна вписанная излучина, вогнутый берег которой представлен низкой песчаной надпойменной террасой. Обтекающие излучины [термин предложен в (Львовская, 2016)] встречаются только на больших реках, русло которых проходит вдоль хорошо выраженных выпуклых изгибов коренных берегов. На одной из таких излучин — Кушеватской — верхнее и ниж-

нее крылья представлены односторонними разветвлениями, образованными островами Кушеватским и Горкинским.

Свободных излучин всего две, они образуют морфологически однородный участок в верхней части рукава, где он еще не подошел к коренному берегу. Доля разветвленного русла составляет 31% (78 км), что сопоставимо с Малой Обью. Одиночные разветвления представлены тремя участками суммарной протяженностью 25 км; на два односторонних разветвления приходится 17.9% длины рукава (45 км). В узле слиянием с Малой Обью формируется “дельта выдвигения” протяженностью 8 км (3.2%).

Русло Оби ниже слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда длиной 68 км сначала прямолинейное неразветвленное, ниже представлено двумя разветвлениями: односторонним (10 км) и параллельно-рукавным (19 км). Последнее образовано цепочкой крупных островов посередине реки и примерно одинаковым распределением расходов воды между левым судоходным (50% в верхней части у о. Птичьего и 62% у о. Кишмель) и правым рукавами (соответственно 50 и 33%). Ниже устья р. Полуя единое, без островов, русло образует обтекающую Салехардскую излучину длиной 8 км (11.8%). Считается, что этот участок входит уже в устьевую область Оби.

В протоке Большой Нюрик (всего 28 км) имеется два участка относительно прямолинейного русла (суммарная длина 19 км, 79.2% длины) и две пологие излучины (5 км, 20.8%) со степенью развитости 1.23 и 1.27. Протока забирает из Малой Оби 42.1% ее расхода. Пересекая поперек пойму [между рукавье (Смирнова, 2002)] Малой и Горной Оби, она принимает многочисленные пойменные протоки и сливающиеся с поймы воды, что приводит к двукратному увеличению ее водности в половодье (5909 м³/с в истоке и 12566 м³/с в устье).

ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

На нижней Оби в пределах ЯНАО выделена 41 свободная излучина рукавов раздвоенного русла; в основном они распространены на Малой Оби, на Большой Оби их всего 2. Гидролого-морфологический анализ излучин осуществлен для пяти участков с извилистым руслом Малой Оби, ограниченных ответвлениями или впадением крупных пойменных проток и Малой Горной Оби, различающихся по водности и, соответственно, по параметрам излучин: 1) разветвление с протокой Большой Нюрик – заход в протоку Мояхтас ($Q = 8117$ м³/с во время половодья, принимаемый для оценки последующего рассредоточения стока Малой Оби за 100%); 2) заход в протоку Маяхтас – ее впадение в Малую Обь (87%); 3)

устье протоки Мояхтас – устье р. Сыни (72%); 4) заход в протоку Илюшкинская Обь – ее устье (83%); 5) ответвление Малой Горной Оби – слияние с ней (77%).

Для всех излучин Малой Оби определены L – шаг, l – длина, r – радиус кривизны, l/L – степень развитости. Для каждого участка получены характерные значения r , L и l/L – минимальные, средние, максимальные (табл. 2). Значения шагов и радиусов кривизны излучин от протоки Большой Нюрик до истока протоки Мояхтас отличаются наибольшими величинами: $L_{\text{макс}} = 5.2$ км при $L_{\text{ср}} = 4.4$ км; $r_{\text{макс}} = 2.53$ км, $r_{\text{ср}} = 2.04$ км; l/L незначительная, все излучины пологие (17): максимальная – 1.33, минимальная – 1.14. Вниз по течению происходит снижение величин L и r и увеличение значений l/L , что связано с отвлечением части стока в пойменные протоки. Наименьшие значения шага и радиусов кривизны – на участке ниже ответвления Малой Горной Оби: $L_{\text{ср}} = 1.57$ км, $r_{\text{ср}} = 0.77$; здесь же $(l/L)_{\text{макс}} = 1.69$. Две свободные излучины Большой Оби (в верхней ее части) отличаются большими значениями параметров, что соответствует большой ее водности по сравнению с Малой Обью ($r = 2.6$ и 3.5 км, $L = 5.5$ и 5.6 км, $l/L = 1.7$ и 1.8).

Размеры островов, образующих русловые разветвления на Малой Оби, зависят от их типа: в одиночных – длина 0.57 км, ширина – 0.13–0.14 км; в односторонних – от 0.25×3.5 км (Мужевское разветвление) до 1.3×14.4 км (Шурышкарское), величины возрастают вниз по течению; в пойменно-русловом – 5.9×8.3 км и в “дельтовом” (о. Вандиасский) – 1.93×4.9 км. В разветвлениях 2-го порядка на излучинах соотношение параметров намного меньше, если острова находятся посередине рукава (0.2×1.25 или 0.25×0.92 км), или соизмеримые с ними при расположении возле выпуклых берегов (например, у о. Холдинского – 0.8×3.9 км). На Большой Оби острова русловых разветвлений все большие: Оленский – 2.8×9.3 , Кушеватский – 2.3×6.9 , Лангивожский – 1.4×7.4 км, тогда как встречающиеся в прямолинейном русле 2-го порядка – намного меньше (о. Гортский – 0.1×2.3 км). Ниже слияния Большой и Малой Оби острова, составляющие параллельно-рукавные разветвления, большие – 2.25×5.45 (о. Птичий) и 1.15×5.1 км (о. Кишмель), но в конце участка перед сужением дна долины и слиянием с Игорской Обью и р. Полуя правобережные односторонние разветвления представлены множеством малых островов.

ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ РУСЛА И РАЗМЫВЫ БЕРЕГОВ

Наиболее яркий показатель интенсивности русловых деформаций – размывы берегов. В пря-

Таблица 2. Параметры излучин Малой Оби

Параметры излучин	Макс.	Сред.	Мин.
От ответвления протоки Большой Нюрик до истока протоки Мояхтас			
Шаг L , км	5.20	4.40	3.60
Радиус кривизны r , км	2.53	2.04	1.47
Степень развитости l/L	1.33	1.25	1.14
От истока до устья протоки Мояхтас			
Шаг L , км	2.50	1.77	1.30
Радиус кривизны r , км	1.06	0.86	0.65
Степень развитости l/L	1.47	1.25	1.12
От устья протоки Мояхтас до устья р. Сыни			
Шаг L , км	3.80	2.39	1.20
Радиус кривизны r , км	1.77	1.07	0.53
Степень развитости l/L	1.50	1.36	1.18
От истока до устья протоки Илюшкинская Обь			
Шаг L , км	2.30	1.80	1.50
Радиус кривизны r , км	1.19	0.86	0.64
Степень развитости l/L	1.42	1.36	1.30
От ответвления до устья Малой Горной Оби			
Шаг L , км	2.20	1.57	1.20
Радиус кривизны r , км	1.37	0.77	0.44
Степень развитости l/L	1.69	1.34	1.11

молинейном русле они происходят в тех местах, где стрежень потока, огибая побочни, прижимается к ним. В односторонних разветвлениях размывы берегов сосредотачиваются в основном рукаве. В свободных излучинах размываемые берега составляют 42.2% (112.3 км) от общей их протяженности. Самая высокая доля размываемых берегов – на вписанной излучине Большой Оби (54.6% длины ее берегов, 10.5 км). Обтекающие на Большой Оби и вынужденные на Малой Оби излучины имеют минимальную длину фронта размыва берегов. В Азовском пойменно-руслевом разветвлении размывается 43.3% берегов, что обусловлено меандрированием рукавов. В одиночных разветвлениях размывается 40.7% берегов благодаря изгибам потока возле островов с соответствующим излучинам полем скоростей, обуславливающим размывы оголовков островов и противоположных им берегов. В параллельно-рукавном разветвлении Оби и “дельтовом” разветвлении Малой Оби при ее слиянии с Большой Обью длина фронта размыва – 20.2 км (длина береговой линии 72 км) и 10.7 км (при протяженности берегов 38.4 км).

На Малой Оби средние скорости размыва берегов C_{cp} колеблются от 0.7 до 1.7 м/год, и лишь на излучинах в начале участка – 2.9 и 3.0 м/год. Максимальные скорости C_{max} изменяются в диапазоне – от 1.0 (в прямолинейном неразветвленном русле) до 10.7 м/год (на Устремской излучине ниже истока протоки Большой Нюрик).

На Большой Оби C_{cp} колеблются от 1.1 до 2.9 м/год, причем тренд их изменений по длине не наблюдается, и только на одной из двух свободных излучин они достигают 3.7 м/год. C_{max} изменяются в диапазоне от 8.7 до 2 м/год, снижаясь вниз по течению и имея наименьшие значения в прямолинейном русле вдоль коренного берега.

Ниже слияния Большой и Малой Оби C_{cp} изменяются от 1.2 до 1.9 м/год в прямолинейном неразветвленном русле и рукавах параллельно-рукавного разветвления, C_{max} находятся в диапазоне 1.9 до 7.4 м/год, максимум зафиксирован у левого вогнутого берега обтекающей излучины напротив г. Салехарда.

На Большой Оби скорости размыва берегов зависят от степени развитости и радиусов кривизны излучин русла или излучин рукавов русловых раз-

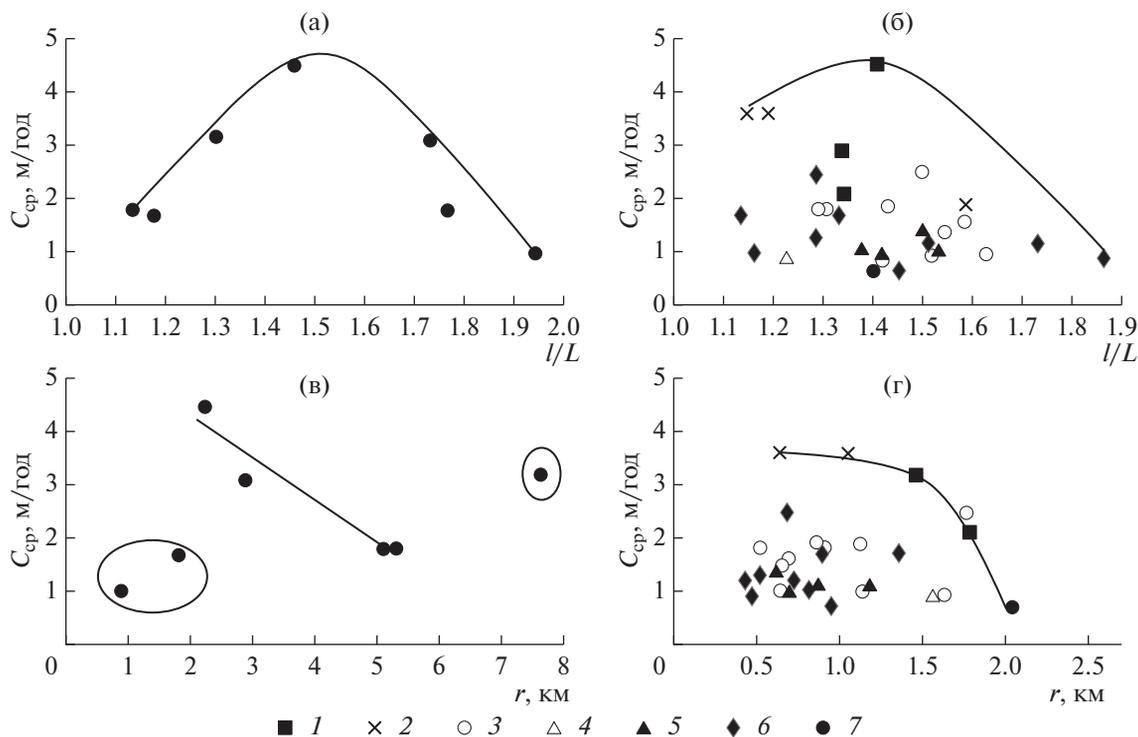


Рис. 5. Зависимость средней скорости ($C_{ср}$, м/год) размыва берегов от степени развитости l/L (а, б) и радиусов кривизны r , км (в, г) излучин русла и излучин рукавов русловых разветвлений Большой (а, в) и Малой (б, г) Оби. Малая Обь: 1 – от истока протоки Большой Нюрик до истока пойменной протоки Мояхтас; 2 – от истока до устья протоки Мояхтас; 3 – от устья протоки Мояхтас до устья р. Сыни; 4 – от устья р. Сыни до истока пойменной протоки Илюшинская Обь; 5 – от истока протоки Илюшинская Обь до захода в Малую Горную Обь; 6 – от захода до устья Малой Горной Оби; 7 – от устья Малой Горной Оби до слияния Малой и Горной Оби.

ветвлений (рис. 5а): до значения $l/L = 1.46$ скорости размыва растут, после чего снижаются. Это соответствует известной закономерности развития излучин (Куракова, Чалов, 2020, 2019), которую Н.И. Маккавеев (1955) объяснял с позиций гидравлической выгоды извилистой формы русла и потерь напора. Более сложна зависимость $C_{ср} = f(r)$: более пологим излучинам соответствует снижение темпов размыва берегов, что отражает обратную связь $r \sim (l/L)^{-n}$. Эта зависимость наблюдается для излучин русла и рукавов одиночных разветвлений ($C_{ср} = -\frac{0.8l}{L} - 5.9$). На графике (рис. 5в) точки слева и справа от зависимости соответствуют “дельтовым” и одностороннему разветвлениям.

Сравнительно небольшие скорости размыва берегов, несмотря на их мелкопесчаное однородное строение и высокую мощность потока, – свидетельство относительной устойчивости русла нижней Оби: число Лохтина $L = 5-6$ (Чалов, 2017). Этому соответствуют малые темпы деформаций русла и незначительная во времени изменчивость русла (русловых разветвлений, излучин

рукавов раздвоению русла). На Большой Оби стабильность русла поддерживается его расположением у правого коренного ведущего берега, что проявляется в поперечном распределении мутности вследствие поперечного перекаса водной поверхности в сторону затопленной поймы: возле левого пойменного берега она более чем вдвое больше, чем у правого коренного (по измерениям в штормовую погоду, из-за чего данные завышены), соответственно 115.3 и 116.1 мг/л в левых протоках в разветвлениях 2-го порядка и 52.5 и 68.7 мг/л в основных судоходных рукавах (в обычных условиях максимальная мутность воды не превышает 60–70 мг/л в обоих рукавах раздвоенного русла).

Наиболее заметные переформирования за последние 40–50 лет произошли в узле слияния Малой и Большой Оби. Интенсивный размыв стрелки, которая образует вогнутый берег излучины основного рукава Большой Оби, привел к полному смыву здесь о. Пароходского, входящего еще 40 лет назад в состав стрелки. При этом радиус кривизны излучины сократился с 2900 до 1700 м, а стрежень потока стал поворачивать почти на

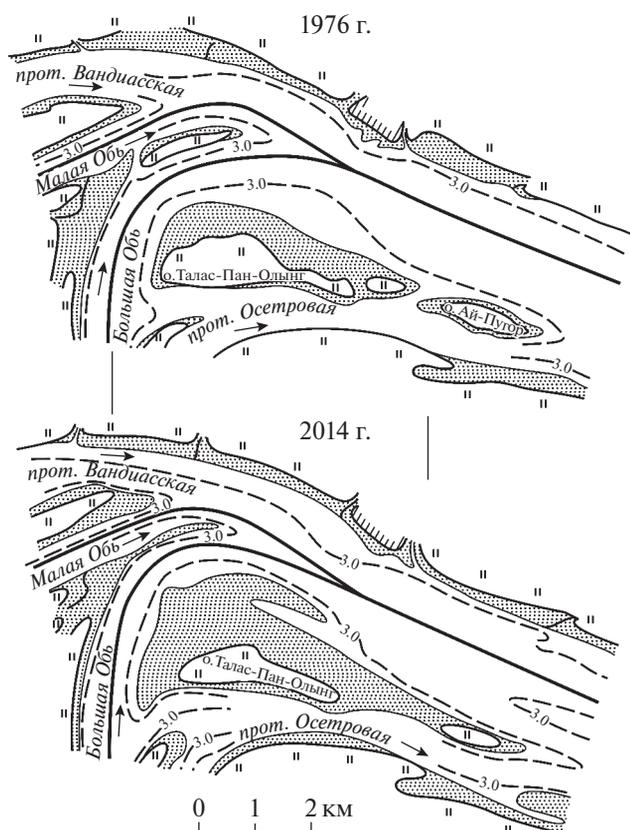


Рис. 6. Переформирования русла в узле слияния Большой и Малой Оби.

90°. В настоящее время стрелку образует узкая песчаная коса, обсыхающая в межень (рис. 6).

В обоих рукавах раздвоенного русла отмечено новообразование осередков в местных расширениях, возникающих из-за размыва вогнутых берегов, их зарастания и превращения в одиночные острова (Голубцов, 2020). Во вновь сформировавшихся разветвлениях происходит периодическое перераспределение стока между рукавами. Такой же процесс отмечен в некоторых старых разветвлениях у крупных островов (например, на Большой Оби у о. Оленского).

На Малой Оби размывы берегов и продольно-поперечное смещение излучин приводят к их искривлению, увеличению степени развитости и уменьшению радиусов кривизны до 1.5–2 раз (табл. 3). Деформации излучин ниже истока Малой Горной Оби определяются отвлечением в нее более 30% расхода воды. Здесь имеется 11 излучин, 2 из которых одиночные, остальные группируются в три серии из 2–4 смежных излучин. Преобладают крутые излучины с малыми радиусами кривизны и нарушением условий обтекания потоком берегов – правила Миловича: $r > 2.5b_p$ (Маккавеев, 1955; Чалов и др., 2004) (табл. 4), имеющие синусоидальную форму с крутыми изгибами фарватера (под углом 90°) в их вершинах, вследствие чего динамическая ось потока смещается к выпуклому берегу. При этом степень развитости излучин $l/L = 1.5–1.6$, т.е. является критиче-

Таблица 3. Изменение радиусов кривизны излучин Малой Оби

№№	Излучина		Радиус кривизны, м	
	Название	Расстояние от устья, км (Карта ..., 2014)	1976 г.	2014 г.
От разветвления с протокой Большой Нюрик до захода в протоку Мояхтас				
1	Устремская	635–630	2350	1400
2	Тегинская	630–622	2900	2450
3	Староустремская	622–617	2400	1800
4	Юхонт-Горт	617–614	2700	2400
5	2-я Тегинская	614–611.5	2150	2050
6	3-я Тегинская	611.5–608	2200	1150
От захода до устья протоки Мояхтас				
1	4-я Мояхтасская	589.5–587	1250	1100
2	5-я Мояхтасская	587–586	1350	1150
3	6-я Мояхтасская	586–584.5	1550	1350
4	7-я Мояхтасская	584.5–583.5	600	800
5	Илья-Горт	583.5–580	1400	1000

Таблица 4. Параметры излучин (радиус кривизны r и ширина русла b_p) Малой Оби на участке раздвоенного русла

№	Излучина			Параметры излучин			
	Серия	Название	Расстояние от устья, км (Карта ..., 2014)	r , м		b_p , м	
				1976 г.	2014 г.	1976 г.	2014 г.
1	I	Первая Восяховская	454–451.5	1850	1500	500	550
2	II	Вторая Восяховская	449–447	1100	1025	250	275
3		Лебяжья	447–445.3	750	700	300	300
4		Илюшинская	445.3–444	700	750	525	425
5	III	Войкаровская	437.5–435.5	1100	50	750	690
6	IV	Вторая Войкаровская	428–424.5	750	680	370	440
7		б/н	424.5–422	440	425	380	350
8	V	Первая Истоминская	416.5–415	825	780	330	250
9		Вторая Истоминская	415–413	550	480	300	330
10		Порысь-Гортская	413–408.5	690	600	$\frac{400^*}{380}$	$\frac{250^*}{250}$
11		Огневская	408.5–406	600	570	350	350

Примечание. * В числителе – в верхнем крыле, в знаменателе – в нижнем крыле.

ской. На космическом снимке (рис. 7) видны на право- и левобережной пойме старичные озера – следы спрямления петлеобразных излучин, форма которых по сравнению с современными свидетельствует о недавней трансформации петлеобразных излучин в синусоидальные.

При слиянии с Малой Горной Обью размыв пойменного перешейка привел к смещению узла слияния вверх по течению на 10 км и образованию у о. Шурышкарского пойменно-руслового разветвления, в котором левый рукав почти полностью питается водами Малой Горной Оби и лишь частично Малой Оби.

На Большой Оби активно развивались излучины в верхней ее части. Здесь на одной из них (Водоворотной), которая приобрела синусоидальную форму, образовалась в водоворотной зоне у выпуклого берега яма размыва глубиной 42 м (от меженного уровня).

ВЫВОДЫ

Выполненное исследование позволило впервые дать морфодинамическую характеристику русла нижней Оби в пределах ЯНАО. Его результаты завершают последовательно изучение с той или иной степенью новизны и детальности условий формирования, гидроморфологии, сосредото-

чения стока и морфодинамики русла средней и нижней Оби. В ЯНАО Обь представляет собой раздвоенное русло, состоящее из двух основных рукавов – Малой Оби, протекающей в левосторонней части днища долины, и Большой Оби – у правого коренного берега, являющихся прямым продолжением соответственно Малой и Горной Оби на вышерасположенном участке реки. Рукава соединяются в 70 км от г. Салехарда, но здесь от Большой Оби ответвляется вправо протока Игорская Обь, составляющая вместе с Обью нижнее звено раздвоенного русла. Отличительная особенность русла нижней Оби в пределах ЯНАО – относительная устойчивость, вследствие чего для рукавов характерна неизменность их конфигурации при незначительных изменениях параметров из-за размыва берегов. На Большой Оби этому способствует расположение русла вдоль правого ведущего коренного берега, оказывающего стабилизирующее влияние.

Для обоих основных рукавов раздвоенного русла и участка реки выше г. Салехарда впервые дана оценка распространения морфодинамических типов русла и сосредоточения стока по их длине, отличающихся на Малой и Большой Оби, что связано, прежде всего, с различной водно-

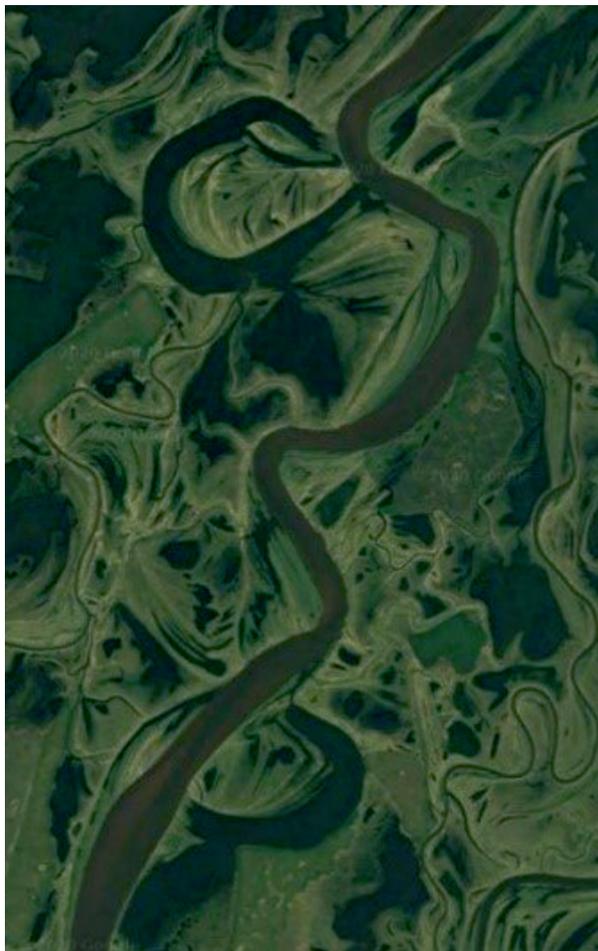


Рис. 7. Следы спрямления излучин на пойме Малой Оби (космический снимок).

стью рукавов (соотношение стока между ними 1 : 2) и влиянием коренного берега на развитие русла Большой Оби.

На Большой Оби преобладает прямолинейное неразветвленное русло, формирующееся у правого коренного берега с отдельными одиночными разветвлениями преимущественно 2-го порядка. Лишь в верхней части реки есть две свободные излучины (здесь коренной берег отошел от реки), вписанная излучина, опирающаяся на низкую надпойменную террасу, и две обтекающие излучины, огибающие изгибы коренных берегов, возле которых имеются одиночные и односторонние разветвления.

На Малой Оби преобладающим морфодинамическим типом русла является меандрирующее, причем наиболее крутые синусоидальные излучины с нарушением условий безотрывного обтекания берегов (правило Миловича) распространены там, где от нее отходит Малая Горная Обь, образующая вторичное раздвоение русла. По всей

длине рукава его водность определяется также ответвлениями пойменных проток, забирающими в сумме до 20% расхода воды в нем. Второй по пространности тип русла – прямолинейное неразветвленное. Среди разветвлений встречаются одиночные, образованные элементарными, или малыми, островами, нередко осложняющими пологие излучины, и односторонние, особенно характерные для нижней части рукава, где его русло расширяется. При слиянии Малой и Большой Оби формируются разветвления типа “дельты выполнения” на Малой Оби и “выдвижения” на Большой Оби, что является следствием подпора во время половодья первой и бесподпорных условий второй.

Свидетельство относительной устойчивости русла – сравнительно невысокие темпы размыва берегов: средние скорости их отступления менее 3 м/год, и лишь на крутых излучинах максимальные значения достигают 10.7 м/год. При этом на Малой Оби, несмотря на ее меньшую водность,

они больше, чем на Большой Оби. Установлены зависимости скоростей размыва берегов от степени развитости и радиусов кривизны излучин русла и рукавов разветвлений, неодинаковые для Малой и Большой Оби.

Выявленные закономерности, помимо общенаучного значения (закрыто белое пятно в географии русловых процессов), имеют большое значение для разработки проектов использования водных ресурсов и совершенствования водного пути.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по плану НИР (госзадание) кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (типизация русла, методология исследований), при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-17-00086 – натурные исследования, гидролого-морфодинамический анализ) и РФФИ (проекты № 20-35-90003/20 – размывы берегов и № 19-35-90101/19 – рассредоточение стока и мутности воды в разветвлениях).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность руководству Администрации “Обь-Иртышводпути” (руководитель Р.А. Чесноков) и ее филиала – Ямало-Ненецкого окружного управления водных путей и судоходства (зам. начальника А.В. Моргунов) за техническое обеспечение исследований, а также команде теплохода “Лиман” за создание благоприятных условий для их проведения.

FUNDING

The paper was prepared according to the scientific research plans of the Department of Land Hydrology and the Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes (morphodynamic types, research methodology) and was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 18-17-00086 (field studies, hydrological and morphodynamic analysis) and the Russian Foundation of Basic Research, projects nos. 20-35-90003/20 (riverbank erosion) and 19-35-90101/19 (distribution of water runoff and water turbidity in the branches).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the management of the Ob-Irtyshvodput Administration (headed by R.A. Chesnokov) and its branch office—the Yamalo-Nenets District Administration of Waterways and Shipping (deputy A.V. Morgunov) for the technical support of the research, as well as the crew of a ship “Liman” for creating favorable conditions for their realization.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беркович К.М.* Обь // Реки и озера Мира. М.: Энциклопедия, 2012. С. 489–498.
- Герасимова А.С.* Характеристика современных геологических процессов, развитых в долинах нижнего течения рек Оби и Иртыша // Вест. Моск. ун-та. Сер. Биол., Почв., Геол., География. 1959. № 2. С. 103–111.
- Голубцов Г.Б.* Гидролого-морфологическая характеристика островов разветвленных русел верхней Оби и нижней Лены // Маккавеевские чтения 2019. М.: Географ. ф-тет МГУ, 2020. С. 21–32.
- Давыдов Л.К.* Гидрография СССР. Гидрография районов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1955. Т. 2. 600 с.
- Карта реки Обь от устья реки Иртыш до города Салехард. СПб.: ФБУ Администрация Волго-Балт, 2014. 87 л.
- Куракова А.А., Чалов Р.С.* Морфология русла и размыва берегов нижней Оби (в пределах ХМАО-Югры) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2020. № 6. С. 41–50.
- Куракова А.А., Чалов Р.С.* Размывы берегов на широтном участке средней Оби и их связь с морфологией русла // Географический вестн. 2019. № 3 (50). С. 34–47.
- Львовская Е.А.* Ретроспективный анализ, современное состояние и оценка возможных изменений русловых процессов на больших реках севера ЕТР. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2016. 30 с.
- Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
- Никитина Н.А.* Русловые процессы в узлах слияния рек. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1989. 21 с.
- Петров И.Б.* Обь-Иртышская пойма (типизация и качественная оценка земель). Новосибирск: Наука, 1979. 136 с.
- Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 328 с.
- Смирнова В.Г.* Гидролого-морфологический анализ разветвленных русел рек Алтайского региона. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. 20 с.
- Трепетцов Е.В.* Деформации берегов р. Оби в Тюменской области // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 3. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 276–284.
- Трофимов В.Т.* Инженерно-геологические условия западной части Западно-Сибирской низменности. Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ, 1964. 25 с.
- Чалов Р.С.* Русловые процессы (русловедение). М.: ИНФРА-М, 2017. 569 с.
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В.* Речные излучины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
- Чалов Р.С., Камышев А.А., Куракова А.А., Завадский А.С.* Особенности рассредоточения стока воды и взвешенных наносов в раздвоенном русле нижней Оби (в пределах ХМАО-Югры) // Водные ресурсы. 2020. Т. 48. № 1. 2021. С. 23–33.

Hydrology-Morphodynamic Characteristics and Reforming the Branched Channel in the Lower Reaches of the Ob River (within the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug)

R. S. Chalov^{1, *}, A. S. Zavadskii^{1, **}, A. A. Kamyshev^{1, ***}, A. A. Kurakova^{1, ****},
N. M. Mikhailova^{1, *****}, and S. N. Ruleva^{1, *****}

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

*e-mail: rschalov@mail.ru

**e-mail: az200611@rambler.ru

***e-mail: arsenii.kamychev@yandex.ru

****e-mail: a.a.kurakova@mail.ru

*****e-mail: nmmikhailova@yandex.ru

*****e-mail: mnksl@yandex.ru

The article analyzes the conditions for the formation of the river channel and river morphology in the lower reaches of the Ob River within the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. Despite its important economic and water transport significance, the lower Ob River has remained practically unexplored until now. The geomorphological structure of the valley determines the formation of a wide-floodplain channel. The floodplain reaches 50 km across and narrows to 10 km only near Salekhard. For the first time, the bifurcated channel appears within the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. The beginning of the bifurcated channel within the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug is the Bolshoy Nyurik branch between the two main branches—Malaya Ob and Bolshaya Ob. Numerous floodplain channels branching off from the Malaya Ob reduce its water content to 10% of the total water. This is accompanied by a change in the river morphology and the parameters of riverbends. At the same time, the intensity of riverbank erosion decreases. In addition to the riverbends on the Malaya Ob, there are often segments of an unbranched channel. The Bolshaya Ob has an unbranched channel due to its location along the right valley side. Along with the data on water runoff dispersion, the data on the distribution of suspended load along the branches are presented during the flood. It is shown that its change is greatly influenced by riverbanks erosion and the floodplain branches, especially on the Malaya Ob. The obtained materials, in addition to general scientific value, are important for substantiating projects for water management and water transport development of the Ob River.

Keywords: channel processes, bifurcated channel, riverbends, channel branches, water runoff distribution, suspended load

REFERENCES

- Berkovich K.M. Ob. In *Reki i Ozera Mira* [Rivers and Lakes of the World]. Moscow: Entsiklopediya Publ., 2012, pp. 489–498. (In Russ.).
- Chalov R.S. *Ruslovye protsessy (ruslovedenie)* [Channel Processes (Riverbed Science)]. Moscow: INFRA-M Publ., 2017. 569 p.
- Chalov R.S., Kamyshev A.A., Kurakova A.A., Zavadskii A.S. The distribution of water and suspended sediment flow during spring flood in the forked channel of the Lower Ob (within Khanty-Mansi Autonomous Area). *Water Resour.*, 2021, vol. 48, pp. 18–28. doi 10.1134/S0097807821010127
- Chalov R.S., Zavadskii A.S., Panin A.V. *Rechnye izluchiny* [River Meanders]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2004. 371 p.
- Davydov L.K. *Gidrografiya SSSR* [Hydrography of the USSR]. Vol. 2: *Gidrografiya raionov* [Hydrography of Regions]. Leningrad: LGU, 1955. 600 p.
- Gerasimova A.S. Modern geological processes in the valleys of the lower reaches of the Ob and Irtysh rivers. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. Biol., Pochvovedenie, Geol., Geogr.*, 1959, no. 2, pp. 103–111. (In Russ.).
- Golubtsov G.B. Hydrological and morphological characteristics of the islands of the branched channels of the upper Ob and Lower Lena. In *Makkaveevskie chteniya* [Makkaveev Readings]. Moscow: Fakul'tet Geogr. Mosk. Gos. Univ., 2020, pp. 21–32. (In Russ.).
- Karta reki Ob' ot ust'ya reki Irtysh do goroda Salekhard* [Map of the Ob River from the Mouth of the Irtysh River to the City of Salekhard]. St. Petersburg: FBU Administratsiya Volgo-Balt, 2014. 87 p.
- Kurakova A.A., Chalov R.S. Channel morphology and bank erosion in the lower reaches of the Ob river (within the KHAMAO–Yugra Autonomous District). *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2020, no. 6, pp. 41–50. (In Russ.).
- Kurakova A.A., Chalov R.S. Shores erosion within latitudinal section of the middle Ob and its correlation with morphology of the channel. *Geogr. Vestn.*, 2019, vol. 50, no. 3, pp. 34–47. (In Russ.).
- L'vovskaya E.A. Channels of the great rivers of the Northern part of European Russia: retrospective analysis, current state, and possible changes. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 2016. 30 p.

- Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* [River Bed and Erosion in its Basin]. Moscow: AN SSSR, 1955. 347 p.
- Nikitina N.A. Channel processes at the junctions of rivers. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 1989. 21 p.
- Petrov I.B. *Ob'-Irtyskaya poima (tipizatsiya i kachestvennaya otsenka zemel')* [Ob-Irtys Flood-Land: Classification and Qualitative Assessment of Lands]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1979. 136 p.
- Popov I.V. *Deformatsii rechnykh rusel i gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [River Channel Deformations and Hydraulic Engineering]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1965. 328 p.
- Smirnova V.G. Hydrological and morphological analysis of branched river channels in the Altai region. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Irkutsk: IG SB RAS, 1989. 20 p.
- Trepettsov E.V. Deformation of the banks of the Ob river in the Tyumen region. In *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy* [Soil Erosion and Channel Processes]. Moscow: MGU, 1973, vol. 3, pp. 276–284. (In Russ.).
- Trofimov V.T. Engineering and geological conditions of the western part of the West Siberian plain. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 1964. 25 p.