

Р.С. ЧАЛОВ, А.А. КАМЫШЕВ, А.А. КУРАКОВА, А.С. ЗАВАДСКИЙ, С.Н. РУЛЁВА

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119899, Москва, Ленинские горы, 1, Россия, rschalov@mail.ru, arsenii.kamyshev@yandex.ru,
a.a.kurakova@mail.ru, az200611@rambler.ru, mnks1@yandex.ru

ГИДРОЛОГО-МОРФОДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВЕТВЛЕННОГО РУСЛА НИЖНЕЙ ОБИ (В ПРЕДЕЛАХ ХАНТЫ-МАНСЬСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ)

Впервые в научной литературе дан анализ условий формирования русла, морфологии и руслового режима нижней Оби (в пределах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры), которая в этом отношении, несмотря на ее важное хозяйственное и водотранспортное значение, до сих пор оставалась практически не изученной. Геоморфологическое строение долины обуславливает ниже слияния с Иртышом сбор реки у правого коренного берега в едином русле, образующем одиночные, сформированные элементарными и малыми островами, разветвления, разделенные прямолинейными неразветвленными участками. Выявлено, что у с. Перегребное расширение поймы до 60 км сопровождается развитием раздвоенного русла (Малая и Горная Обь), сток рассредотачивается по основным рукавам (до четырех) и многочисленным пойменным протокам, связанным между собой и притоком — р. Северной Сосьвой. В связи с этим водность основных рукавов вниз по течению снижается (в Малой Оби — до 5 % от общей), происходит изменение морфологии русел рукавов раздвоенного русла, параметров их форм, снижается интенсивность переформирования и размывов берегов, растет количество и мелководность перекатов. Установлено, что морфодинамические типы различны в едином и в рукавах раздвоенного русла. Единое русло представлено одним морфологически однородным участком с абсолютным преобладанием одиночных разветвлений; рукава раздвоенного русла в основном меандрируют, и только Горная Обь на участке вдоль коренного берега формирует одиночные разветвления. На границе Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа река собирается в два основных рукава — Малую и Большую Обь. Получены гидролого-морфологические зависимости между параметрами излучин русла рукавов раздвоенного русла и рукавов одиночных разветвлений и их водностью в половодье. Однако связи не устойчивы, так как нарушаются из-за изменчивости водности в пределах одной формы и местных условий.

Ключевые слова: Обь, русловые процессы, раздвоенное русло, излучины, разветвления, острова.

R.S. CHALOV, A.A. KAMYSHEV, A.A. KURAKOVA, A.S. ZAVADSKII, S.N. RULEVA

Lomonosov Moscow State University,
119899, Moscow, Leninskie gory, 1, Russia, rschalov@mail.ru, arsenii.kamyshev@yandex.ru,
a.a.kurakova@mail.ru, az200611@rambler.ru, mnks1@yandex.ru

HYDROLOGICAL-MORPHODYNAMIC CHARACTERISTIC OF THE BIFURCATED CHANNEL OF THE LOWER OB (WITHIN KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG – YUGRA)

For the first time in the scientific literature, an analysis is made of the channel formation conditions and of the morphology and channel regime of the Lower Ob (within Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra) which in this context, in spite of its important economic and water transport significance, remains largely unexplored. The geomorphological structure of the valley determines downstream of the confluence of the river with the Irtysh the concentration of the river at the right valley side in a common channel producing single branches divided by straight unbranched sections shaped by river flow concentration along the right valley side and formation single branches, divided by straight unbranched sections. It is found that at the village of Pogrebnoe the broadening of the floodplain to 60 km is accompanied by the formation of a bifurcated channel (Malaya and Gornaya Ob), the distribution of water discharge in the main channels (up to four) and by numerous floodplain channels connected with one another and with the tributary, the Severnaya Sos'va river. In this connection, the water discharge of the main branches downstream decreases (by as much as 5 % of the total discharge in the Malaya Ob), there occur changes in the morphology of the channels of the branches of the bifurcated channel and in the parameters of their forms and in the intensity of reconfigurations and caving; the number and shallowness of river bars increase. It is established that the morphodynamic types are different in the common channel and in the branches of the bifurcated channel. The common channel is represented by one morphodynamically

homogeneous section, with an absolute predominance of single bifurcations; the branches of the bifurcated channel are mainly meandering, and only the Gornaya Ob in the section along the valley side forms single bifurcations. On the boundary of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra and Yamalo-Nenets Autonomous Okrug the river is concentrated in two main branches (Malaya and Bol'shaya Ob). We obtained hydrological and morphological relationships between the parameters of channel bends of the channel of the branches of the bifurcated channel and the branches of single bifurcations and their discharge during floods. However, the relationships are unstable, because they are disturbed due to the variability in water discharge within one form and local conditions.

Keywords: Ob river, channel processes, bifurcated channel, bends, branches, islands.

ВВЕДЕНИЕ

Обь — одна из крупнейших рек России, которая в нижнем течении, несмотря на свое значение как основной водной магистрали Западной Сибири, фактически составляет «белое пятно» в географии русловых процессов. Известны работы Е.В. Трепетцова [1] и А.С. Герасимовой [2] о размыве пойменных берегов без увязки с русловыми процессами. Представленные в «Атласе Ханты-Мансийского АО — Югра» [3] карты русловых процессов были созданы по космическим снимкам с использованием лоцманских карт. Поэтому выполненные в июне 2019 г. русловые экспедиционные исследования на нижней Оби стали пионерными и позволили не только уточнить карту в [3], но и впервые дать полноценную характеристику условий формирования и морфодинамики русла данного участка реки, а также выполнить гидролого-морфологический анализ, дать оценку рассредоточения потока по рукавам и его влиянию на морфологию и динамику русла. Последнее особенно важно, так как специфическая особенность нижней Оби — это многорукавность раздвоенного русла, не имеющая аналогов на реках России и мира в целом.

Раздвоенное русло представляет собой разделение реки на два самостоятельных рукава. Они располагаются в противоположных частях широкой поймы (на нижней Оби — до 60 км) вблизи или вдоль бортов долины, имеют собственные водосборы, принимают притоки и отличаются по водному и русловому режимам, морфодинамическим типам русла [4]. Помимо средней (на широтном участке) и нижней Оби раздвоенное русло описано на нижней Волге — Волго-Ахтубинская долина [5, 6], где альтернативный рукав предельно маловоден (3–4 % от общего расхода воды), на нижнем Днестре (протока Турунчук, забирающая из главного русла 50–60 % стока, но на всем протяжении не имеющая с ней гидравлической связи [7]), а также на сравнительно небольших реках — Чарыше [8], Аргуни [9, 10] — и крупнейшем Амуре [11]. Однако это обобщенные гидрографические характеристики, независимые для каждого рукава, часто с креном на описание основного рукава (например, Волге посвящена обширная литература, тогда как русловый режим Ахтубы почти не рассматривается), либо относительно формальное упоминание. Лишь для Чарыша и Аргуни были даны оценки переформирования в связи с решением практических задач раздвоенных русел в целом, без выделения типов их русел.

В зарубежной литературе только в классификации Д.Л. Росгена [12] можно найти под индексом DA подобие раздвоенному руслу; то же касается известных работ по русловым процессам Д. Книгтона [13], Л.Б. Леополда и др. [14]. Нижняя Обь отличается от всех известных рек сложной структурой раздвоенного русла. Протяженность рукавов на ней составляет сотни километров. Гидравлическая связь между ними осуществляется по затопленной во время половодья пойме и многочисленным пойменным протокам. Отличительная особенность нижней Оби — вторичное раздвоение основных рукавов и одновременное существование до четырех таких субпараллельных рукавов, отвлечение стока в пойменные протоки и, наконец, слияние рукавов раздвоенного русла с притоками — реками Северной Сосьвой и Казымом. Все это определяет чрезвычайно сложный русловый режим нижней Оби, создающий, особенно в условиях слабой его изученности, серьезные затруднения при водно-транспортном и водохозяйственном освоении реки и ее ресурсов.

Цель работы — дать оценку условий формирования и морфодинамическую характеристику русла, его переформирования, а также провести гидролого-морфологический анализ раздвоенного русла и русловых разветвлений, излучин рукавов и прямолинейного неразветвленного русла на других участках реки и в рукавах раздвоенного русла.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Обь после слияния с Иртышом, представляя собой крупнейшую реку, характеризуется растянутым весенне-летним половодьем с максимальными расходами воды, превышающими средние годовые не более чем в 3–4 раза, повышенным стоком в летне-осенний период и низкой зимней меженью. На

весенне-летнее половодье приходится 50–55 % годового стока, на летне-осеннюю межень — 35–40, на зимнюю — 10–15 %. Средняя продолжительность половодья — 140 дней. При высоких подъемах урвной воды затопливается вся пойма.

После слияния с Иртышом Обь поворачивает почти под прямым углом и далее течет на север. Долина реки широкая, асимметричная. Сразу после слияния Обь подходит к отрогам Сибирских увалов — возвышенности Белогорский материк с максимальными высотами 227 м, сложенной глинами и моренными суглинками, песчаными отложениями с гравийно-галечным и валунным материалом. От с. Белогорье до с. Урманский и от пос. Октябрьского до с. Шераклы по правому берегу наблюдаются выходы дочетвертичных пород. Русловые наносы представлены хорошо отсортированными мелкими песками и алевритами, вдоль правого коренного берега в русле и в плесовых лощинах встречаются глины.

У с. Перегребное Обь разделяется на два рукава: левый — Малую Обь и правый — Горную Обь. Ниже впадения протоки Большой Нюрик, вытекающей из Малой Оби, Горная Обь получила название Большая Обь. Оба основных рукава соединяются между собой многочисленными пойменными протоками, расчленяющими широкую пойму. Пойма на участке исследования в основном левобережная. Ширина поймы ниже устья Иртыша достигает 40–45 км, но после разделения реки на Малую и Горную Обь сужается до 20–25 км.

В основе исследований — сопоставление лоцманских карт нижней Оби, изданных в 1976 и 2015 гг. [15,16], анализ материалов ежегодных съемок перекатных участков (за 2010–2019 гг.), проводимых изыскательскими партиями ФБУ «Администрация Обь-Иртышского бассейна внутренних водных путей», и космических снимков серий Sentinel-2, Landsat 5 TM, CORONA KH-4A за 1969–1988 гг. и 2018 гг. [17]. Натурные исследования заключались в измерениях скоростей течения, расходов воды, съемках скоростных полей с применением акустического доплеровского определителя скоростей течения воды ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) типа Sontek River Surveyor M9. Запись и обработка полученных данных с ADCP производились с помощью программы обработки данных River Surveyor Live.

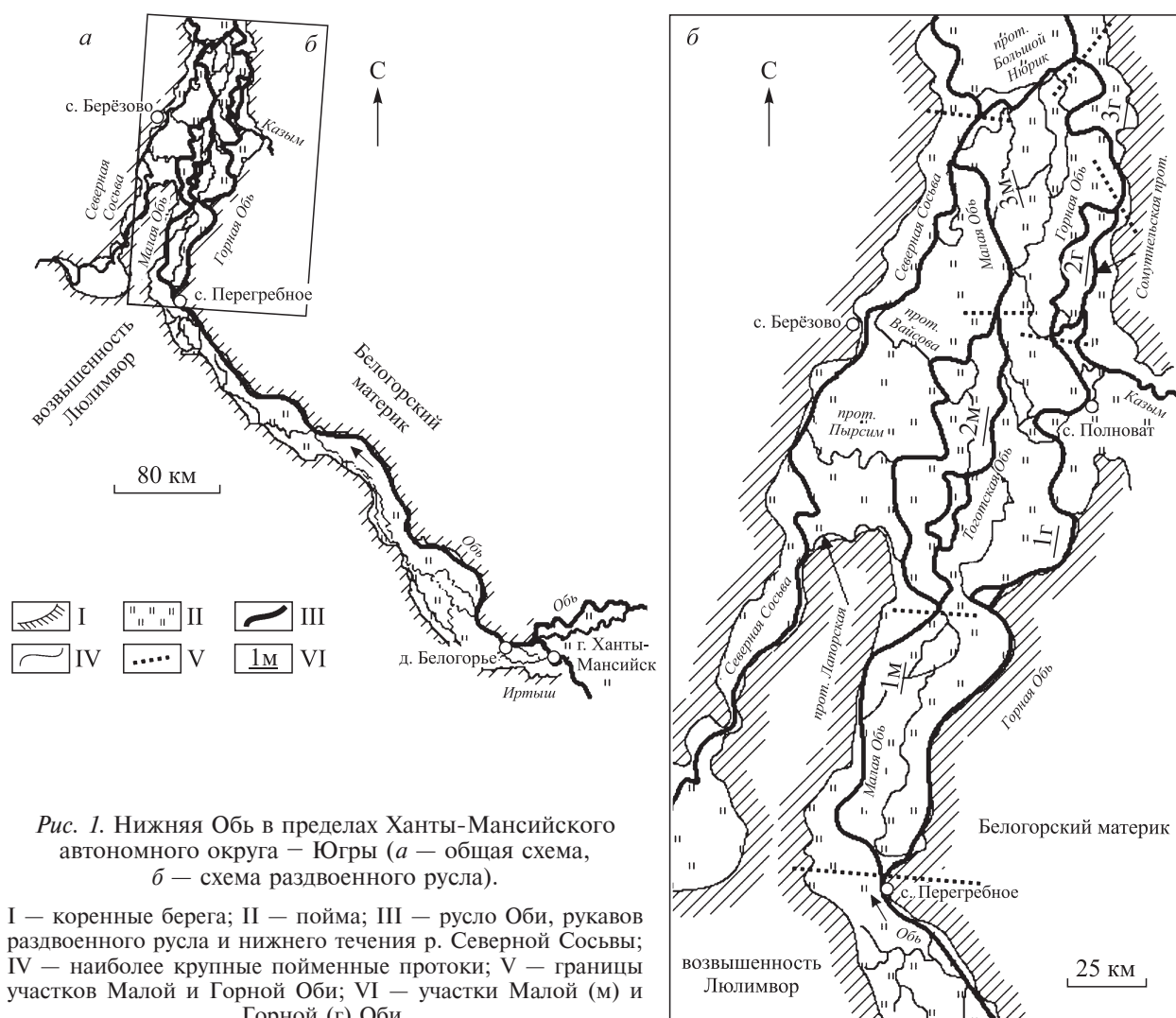
УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАССРЕДОТОЧЕНИЕ СТОКА ПО РУКАВАМ

Среднемноголетний расход воды $Q_{\text{ср}}$ — 10 200 м³/с (с. Белогорье ниже слияния с р. Иртышом) и 12 800 м³/с у г. Салехарда, среднемаксимальный $Q_{\text{макс}}$ — 28 200 и 36 700 м³/с соответственно. На 646 км от устья в левый рукав — Малую Обь — впадает р. Северная Сосьва ($Q_{\text{ср}}$ = 860 м³/с, $Q_{\text{макс}}$ = 3740 м³/с). В правый рукав — Горную Обь (в ее правый рукав — Сомутнельскую протоку) — впадает р. Казым ($Q_{\text{ср}}$ = 80 м³/с, $Q_{\text{макс}}$ = 474 м³/с). Во время экспедиционных исследований 8–21 июня 2019 г. у с. Перегребное (разделение Оби на Малую и Горную Обь) был зафиксирован $Q_{\text{макс}}$ = 24 020 м³/с, что близко к величине руслоформирующего расхода воды по г.п. Белогорье — 25 000 м³/с; сток воды с затопленной поймы в русло реки изменялся от 500 до 1700 м³/с.

Раздвоенное русло на Оби впервые встречается в среднем течении, где на широтном участке выше г. Сургута река разделяется на собственно Обь (правый, основной по водности рукав) и Юганскую Обь (левый рукав), продолжением которой служат Большая Салымская и Неулева протоки. Последняя тремя рукавами впадает в р. Иртыш. При слиянии с Иртышом расход воды в Оби увеличивается, по измерениям в половодье 2019 г., с 12 339 до 22 692 м³/с. Река здесь подходит к западной оконечности Сибирских увалов — Белогорскому матерiku. Меняя при этом направление с широтного на северо-западное, она на протяжении 324 км (до с. Перегребное) течет вдоль правого коренного берега, характеризуясь редкими русловыми разветвлениями и прямолинейным неразветвленным руслом.

Широкая левобережная пойма расчленена пойменными протоками (рис. 1, а), в основном маловодными (2–4 % от общего расхода воды). Исключение представляет Алёшкинская протока, относительный расход воды в которой в половодье от захода к устью возрастает от 4 до 22 % за счет слияния с другими пойменными протоками. Ширина левобережной поймы колеблется от 15–20 до 40–45 км, создавая чередование сужений и расширений днища долины.

У с. Перегребное уступ «материка» отклоняется от реки вправо, Обь принимает меридиональное направление, разделяясь на два основных рукава — Малую (с большим стоком) и Горную Обь (см. рис. 1, б). Эти рукава создают раздвоенное русло, продолжающееся почти до г. Салехарда. Горная Обь следует вдоль правого коренного берега; Малая Обь, сохраняя направление Оби, по диагонали пересекает пойму и подходит к левому борту долины — склонам возвышенности Люлинвор, которая образует Обь-Сосьвинский водораздел.



Оба рукава развоенного русла Оби образуют развоенные русла второго порядка, отделяя Тоготскую Обь, протоки Вайсова и Большой Нюрик — Малая Обь, Сомутельскую протоку — Горная Обь, меандрируют, реже образуют русловые разветвления. Часть стока направляется в пойменные протоки, иногда достаточно многоводные. Это приводит к рассредоточению стока и снижению их водности (табл. 1). Малая Обь по протоке Вайсова, пойменным протокам Лапорской и Пырсим отдает часть стока в р. Северную Сосьву, водность которой возрастает в половодье к устью почти в два раза и становится большей, чем в Малой Оби. Это, а также ответвление правого рукава — Тоготской Оби, приводит к тому, что Малая Обь оказывается по водности сопоставимой (или меньшей) с притоками рек Северной Сосьвы и Казыма (измеренный в половодье ниже истока протоки Вайсова $Q = 1213 \text{ м}^3/\text{с}$, 5 % стока Оби) и пойменными протоками — Лапорской, Чухлай, Громыч, оставаясь главным транспортным путем.

От слияния с Тоготской Обью, а затем с Северной Сосьвой Малая Обь практически восстанавливает свою водность, но затем в развоении русла протокой Большой Нюрик водность уменьшается на 41 %. Протока, пересекая затопленную пойму почти поперек и собирая воды с нее и из пойменных проток между Малой и Горной Обью, увеличивает расход в половодье в 2,5 раза. В результате ниже ее слияния с Горной Обью водность последней составляет уже 76 % (расход воды по измерениям в половодье $16\,771 \text{ м}^3/\text{с}$) от стока Оби, и она получает название Большая Обь, в которую по Большому Нюрику перемещается основная трасса судового хода.

Таблица 1

Максимальные расходы воды в рукавах раздвоенного русла нижней Оби (измерения в июне 2019 г.)

Рукав, пойменные протоки, притоки	Q, м³/с	Q, %	
		от Оби	от Малой или Горной Оби (в их истоках)
Разветвление на Малую и Горную Обь			
Малая Обь (исток)	15 044	64	100
Горная Обь (исток)	8412	36	100
Малая Обь			
Тоготская Обь (исток)	8364	36	60
Малая Обь (ниже истока Тогутской Оби)	5595	24	40
Лапорская (исток)	1153	5	19
Пырсим (исток)	435	2	10
Вайсова (исток)	2490	11	67
Малая Обь (ниже истока протоки Вайсова)	1213	5	33
Тоготская Обь (устье)	6747	29	77
Малая Обь (перед устьем р. Северной Сосьвы)	7224	31	52
Северная Сосьва (устье)	6652	28	48
Малая Обь (ниже устья р. Северной Сосьвы)	13 876	59	92
Большой Нюрик (исток)	5048	22	41
Малая Обь (ниже истока протоки Большой Нюрик)	8403	36	59
Горная Обь			
Сомутнельская (исток)	2568	11	42
Горная Обь (исток протоки Сомутнельской)	3517	15	58
р. Казым (устье)	1651	7	20
Сомутнельская (устье)	4219	18	53
Горная Обь (устье)	5205	22	29
Большой Нюрик (устье)	12 566	54	71

Пойма при разделении Малой и Горной Оби расширяется до 45 км (против 15 км выше с. Перегребное), а затем, становясь общей для Оби и Северной Сосьвы, — до 60 км. Ниже с. Полноват в районе устья р. Казыма неширокая пойма появляется по правобережью Горной Оби, отделяя ее от склонов Полуйской возвышенности. Пойма нижней Оби одноярусная, с обширными соровыми понижениями, озерами, болотами, регулирующими сток половодья, расчлененная протоками и рукавами раздвоенного русла.

МОРФОДИНАМИЧЕСКИЕ ТИПЫ РУСЛА

От слияния с Иртышом до границы Ханты-Мансийского автономного округа нижняя Обь четко разделяется на два участка: верхний — от устья р. Иртыша до с. Перегребное; нижний — от с. Перегребное до границы. На верхнем участке длиной 324 км русло проходит у правого коренного берега, являясь единым морфологически однородным участком, представленным 15 одиночными разветвлениями, располагающимися в местных расширениях русла ниже выступов и мысов ведущего правого берега прямолинейным неразветвленным руслом между образующими их островами и коротким (21 км) параллельно-рукавным разветвлением. Острова, в основном элементарные, т. е. возникшие при зарастании и превращении в пойму бывших осередков и увеличении их размеров вследствие причленения к ним соголовков и обоих берегов прирусловых отмелей и роста кос в ухвостьях, или малые, состоящие из двух объединившихся элементарных. Три острова относятся к большим, состоящим из нескольких объединившихся элементарных (о. Сухоруковский — из 12). Рукава возле них осложнены разветвлениями второго порядка, образованными элементарными островами. Только одно одиночное разветвление (Фуринское) находится ниже мыса коренного берега в местном резком расширении русла (более чем в 5 раз), состоит из четырех островов, разделенных межостровными протоками (до 20 % от общего расхода воды).

Параллельно-рукавное разветвление находится на прямолинейном участке реки, ширина которого в среднем в два раза больше, чем на смежных выше и ниже по течению участках с неразветвленным руслом. Образующие его острова (безымянный и Низямский) являются элементарными.

На нижнем участке Горная и Малая Обь образуют раздвоенное русло. На 60 км ниже с. Перегребное от Малой Оби отделяется вправо Тоготская Обь, создающая вторичное раздвоение русла. То же самое происходит и на Горной Оби, от которой ниже с. Полноват отделяется Сомутнельская протока. В этот рукав впадает правый приток Оби — р. Казым. Тоготская Обь также образует раздвоенное русло после ответвления от нее такой же по размерам протоки Нюлас, вновь соединяющейся с ней ниже по течению. В результате р. Обь оказывается разделенной на несколько субпараллельных рукавов, образующих сложную структуру раздвоенного русла.

Малая и Горная Обь характеризуются своим набором типов русла, смена которых по их длине и параметры форм соответствуют изменениям водности, расположением среди поймы или вдоль коренного берега.

Для Оби от устья Иртыша до с. Перегребное наиболее распространено относительно прямолинейное неразветвленное русло (50,3 % от общей длины участка), на одиночные разветвления приходится 42,8 % длины участка (табл. 2). Параллельно-рукавное разветвление составляет 6,4 %.

На Малой Оби (до ответвления протоки Большой Нюрик) доля относительно прямолинейного русла составляет 16 %, меандрирующего — 57,4 % ее длины; все излучины (17 ед.) свободные, степень их развитости $l/L = 1,16-1,97$ (l — длина, L — шаг излучины) при среднем значении 1,39. В вершине

Таблица 2

Распространение морфодинамических типов русла р. Оби на участке от устья р. Иртыша до границы Ханты-Мансийского автономного округа — Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа

Характеристика, параметр	ПН	Излучины			Разветвления				Всего
		Пр	Св	Σ	О	Одн	П-р	Σ	
Устье р. Иртыша – с. Перегребное									
Длина, км	163	—	—	—	140	—	21	161	324
% от суммарной длины	50,3	—	—	—	42,8	—	6,4	49,7	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	—	—	—	85,4	—	12,8	100	—
Количество, ед.	15	—	—	—	14	—	1	15	30
% от суммарного количества форм русла	50	—	—	—	46,7	—	3,3	50	100
Малая Обь									
Длина, км	33	—	112	112	18	11	21	50	195
% от суммарной длины	16,9	—	57,4	57,4	9,2	5,6	10,8	25,6	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	—	100	100	36	22	42	100	—
Количество, ед.	4	—	17	17	2	1	1	4	25
% от суммарного количества форм русла	16	—	68	68	8	4	4	16	100
Большой Нюрик									
Длина, км	19	—	5	5	—	—	—	—	24
% от суммарной длины	79,2	—	20,8	20,8	—	—	—	—	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	—	—	—	—	—	—	—	—
Количество, ед.	2	—	2	—	—	—	—	—	4
% от суммарного количества форм русла	50	—	50	50	—	—	—	—	100
Горная Обь									
Длина, км	40	32,5	97	129,5	62,5	—	—	62,5	232
% от суммарной длины	17,2	14	41,8	55,8	26,9	—	—	26,9	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	25,1	74,9	100	100	—	—	100	—
Количество, ед.	4	3	12	15	7	—	—	7	26
% от суммарного количества форм русла	15,4	11,5	46,2	57,7	26,9	—	—	26,9	100

Примечание. ПН — прямолинейное неразветвленное; излучины: Пр — прорванные, Св — свободные; разветвления: О — одиночные; Одн — односторонние; П-р — параллельно-рукавные* и пойменно-русловые** (*на Малой Оби; **на участке устье р. Иртыша—с. Перегребное). Прочерк — отсутствие данного типа русла в пределах рассматриваемого участка.

самых крутых «коленообразных» излучин (их три) со стороны вогнутых берегов находятся истоки крупных пойменных проток и Тоготской Оби. Большинство излучин — пологие и развитые, сегментные, многие осложнены островами в привершинной части или на крыльях. Одиночные разветвления составляют 9,2 % длины участка. Имеется один участок с односторонними разветвлениями (11 км, 5,6 %). Для Малой Оби специфичны пойменно-русловые разветвления: Межьюрско-Нарыкарское длиной 21 км (10,8 %) и Лапорско-Новинское (9 км, 4,6 %). Уменьшение стока по длине Малой Оби по мере отвлечения воды в Тоготскую Обь, протоки Лапорскую, Пырсим и Вайсова приводит к увеличению в ней доли меандрирующего русла.

Для протоки Большой Нюрик свойственно минимальное разнообразие типов русла, что соответствует ее малой длине (всего 24 км): относительно прямолинейное русло (суммарная длина 19 км, 79,2 %) и две пологие ($l/L = 1,23$ и $1,27$) излучины (5 км, 20,8 % длины).

В Горной Оби также преобладает меандрирующее русло — 55,8 % ее длины. Среди излучин преобладают свободные (12 ед.), встречаются прорванные (3 ед. с $l/L = 2,02$, $2,50$ и $1,55$). У сегментных излучин $l/L = 1,16$ – $1,76$, среднее $1,41$ (пологие и развитые). В вершинах прорванных излучин обычно находятся истоки пойменных проток. На прямолинейное русло приходится 17,2 % длины Горной Оби. Русловые разветвления (26,9 %) одиночные, образованы элементарными и малыми островами.

Причина различий в морфологии русел Малой и Горной Оби — наличие правого коренного берега у Горной Оби. Это проявляется в увеличении доли одиночных разветвлений, сформировавшихся ниже его выступов и мысов, и в меньшей вторичной раздвоенности, которая начинается после ее отхода от коренного берега в районе устья р. Казыма. В формировании Сомутнельской протоки — правого рукава раздвоенного русла — по-видимому, играют роль подпор р. Казыма в половодье, образование поперечного уклона от Оби в его низовья и, как следствие, формирование правого рукава.

ГИДРОЛОГО-МОРФОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ РУСЛА

На нижней Оби в пределах ХМАО — Югры, включая Малую и Горную Обь и протоку Большой Нюрик, выделено 54 излучины рукавов раздвоенного русла, в том числе на прорванных излучинах, и одиночных русловых разветвлений. Семь излучин рукавов одиночных разветвлений находится на участке от устья р. Иртыша до с. Перегребное, 16 — на Малой Оби, 2 — в протоке Большой Нюрик, 17 — в Горной Оби, 11 — в Тоготской Оби. Для всех разновидностей излучин определялись L — шаг, l — длина по руслу, r — радиус кривизны, l/L — степень развитости. Для каждого морфологически однородного участка (см. рис. 1) получены характерные значения r , L и l/L излучин, определены минимальные, средние и максимальные значения параметров (табл. 3). Для основных рукавов раздвоенного русла (Малая Обь, Горная Обь, Тоготская Обь) выполнен анализ изменений параметров по длине с учетом изменений их водности вследствие рассредоточения стока и распределения его в одиночных разветвлениях.

Значения шагов и радиусов кривизны излучин рукавов одиночных разветвлений на участке единого русла (устье р. Иртыша—с. Перегребное) отличаются наибольшими величинами: $L_{\text{макс}} = 16,3$ км при $L_{\text{ср}} = 8,33$ км; $r_{\text{макс}} = 8,50$ км, $r_{\text{ср}} = 4,33$ км. l/L этих излучин незначительная и не отличается разнообразием: максимальная — $1,21$, минимальная — $1,15$.

В основных рукавах раздвоенного русла происходит резкое снижение величин L и r и увеличение значений l/L по сравнению с единым руслом. При этом наблюдается дифференциация их участков по значениям этих параметров. На первом участке Малой Оби (1М) излучины имеют большие величины шагов и радиусов кривизны (средние значения $L = 6,08$ км, $r = 2,9$ км), чем на втором (2М) ($L_{\text{ср}} = 4,52$ км, $r_{\text{ср}} = 2,63$ км); при этом l/L излучин возрастают от $1,28$ до $1,39$, что обусловлено уменьшением водности Малой Оби вниз по течению. Для Горной Оби тренды изменений r , L и l/L для морфологически однородных участков (1Г, 2Г и 3Г) не прослеживается (см. табл. 3). Для участка 1Г характерны максимальные значения параметров ($L = 5,96$ км; $r = 2,63$ км; $l/L = 1,58$), на участке 2Г $L = 4,34$ км, $r = 1,97$ км, а $l/L = 1,47$, что связано с ответвлением Сомутнельской протоки и снижением расхода воды в Горной Оби. После слияния с Сомутнельской протокой на участке 3Г средняя величина L сокращается до $4,25$ км, а r возрастает до $2,14$ км, l/L при этом практически не изменяется — $1,50$. Это не согласуется с увеличением водности ниже слияния с Сомутнельской протокой и, вероятно, обусловлено статистической неустойчивостью средних значений параметров в связи с малым количеством изгибов русла на участке (5 шт.). Для Тоготской Оби средние значения $L = 2,55$ км, $r = 1,14$ км и повышенные $l/L = 1,71$, минимальные L и r и большая величина l/L связаны с невысокой водностью ее верхней части, где сосредоточены все излучины, и вторичным раздвоением — протокой Нюлас.

Таблица 3

Значения параметров L , r и l/L излучин рукавов раздвоенного русла, излучин рукавов русловых разветвлений и прорванных излучин русла р. Оби на участке от устья р. Иртыша до границы Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа

Параметры излучин (изгибов)	Максимальное	Среднее	Минимальное
Устье р. Иртыша – с. Перегребное			
Шаг, L , км	16,3	8,33	2,80
Радиус кривизны, r , км	8,5	4,33	2,1
Степень развитости, l/L	1,21	1,18	1,15
Малая Обь (участок 1М)			
Шаг, L , км	8,3	6,08	3,1
Радиус кривизны, r , км	4,4	2,9	1,6
Степень развитости, l/L	1,49	1,28	1,17
Малая Обь (участок 2М)			
Шаг, L , км	7,4	4,52	3
Радиус кривизны, r , км	3,75	2,06	1,4
Степень развитости, l/L	1,97	1,39	1,16
Горная Обь (участок 1Г)			
Шаг, L , км	7,4	5,96	2,9
Радиус кривизны, r , км	3,5	2,63	1
Степень развитости, l/L	2,5	1,58	1,19
Горная Обь (участок 2Г)			
Шаг, L , км	6,6	4,34	1,2
Радиус кривизны, r , км	3,2	1,97	0,5
Степень развитости, l/L	1,65	1,47	1,21
Горная Обь (участок 3Г)			
Шаг, L , км	5,7	4,26	2,8
Радиус кривизны, r , км	2,8	2,14	1,2
Степень развитости, l/L	1,76	1,5	1,16
Тоготская Обь			
Шаг, L , км	4,8	2,55	1,2
Радиус кривизны, r , км	2,5	1,14	0,6
Степень развитости, l/L	2,5	1,71	1,19

Сопоставление средних значений L и r излучин рукавов одиночных разветвлений единого русла нижней Оби с данными по средней Оби показывает увеличение значений L при уменьшении l/L . То есть повышение водности реки приводит к росту шагов и радиусов кривизны излучин рукавов одиночных разветвлений и к сокращению степени их развитости.

Связь параметров излучин русла рукавов раздвоенного русла и излучин рукавов одиночных разветвлений с их водностью (Малая, Горная и Тоготская Обь) прослеживается, но она неустойчива и может нарушаться вследствие изменчивости водности рукавов по их длине.

От слияния с Иртышом до разделения на Малую и Горную Обь переформирования русла сосредоточены в одиночных разветвлениях русла, так как его расположение вдоль правого коренного берега представляет собой стабилизирующий фактор. Большинство из них, будучи связанными с элементарными и малыми островами, сформировались вследствие зарастания осередков в последние 50–60 лет и в настоящее время сохранилось только одно осередковое разветвление. Таким образом, активное зарастание осередков, наблюдаемое с 1970-х гг., осуществляет переход одного уровня разветвлений русла — осередкового — на другой, более высокий — островной (русловой) [18].

Благодаря зарастанию осередков и превращению их в острова произошло формирование параллельно-рукавного разветвления (см. рис. 2): в последней четверти XX в. размеры островов — бывших осередков — выросли, одновременно размывался левый пойменный берег (он отступил за 1976–2014 гг. от 100 до 700 м), ширина русла увеличивалась. Съемка скоростного поля потока подтвердила существование двух стрежневых потоков, в том числе в акватории между островами, составляющими параллельно-рукавное разветвление.

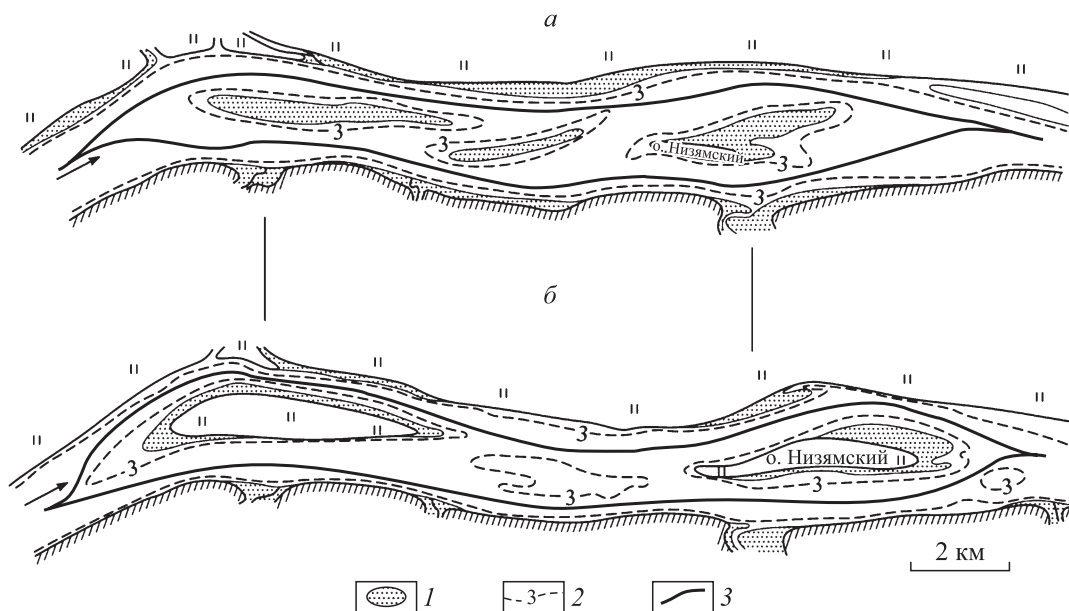


Рис. 2. Формирование параллельно-рукавного разветвления на Оби (сопоставленные планы 1976 г. (а) и 2014 г. (б)).

1 — прирусловые отмели (осередки); 2 — изобата 3 м; 3 — динамические оси потока.

Переформирования одиночных разветвлений заключаются в регрессивном смещении образующих их островов, перераспределении стока в левые рукава и, как следствие, их развитии, сопровождающемся переводом в них трассы судового хода. Наибольшие размеры отмелей у оголовков островов и их последующее зарастание отмечены в Сухоруковском (600 м за 38 лет), Шеркальском (2700 м) и Фуринском (около 600 м) разветвлениях.

Расположение русла Оби вдоль правого коренного берега обуславливает развитие правых рукавов одиночных разветвлений. В конце XX—начале XXI вв. образование за его выступами побочной способствовало развитию левых рукавов в четырех разветвлениях, которые стали судоходными. Лишь в одном Фуринском крупный мыс правого берега направляет поток в левый рукав — основной по водности и судоходности. Но рост отмелей у оголовка острова и размывы левого берега выше по течению привели к активизации правых рукавов (в половодье доля расхода в них — 45 %), аккумуляции наносов и образованию побочня возле вогнутого левого берега, что привело к осложнению судоходства из-за извилистости фарватера.

Во всех одиночных разветвлениях происходят активные размывы левого пойменного берега со средними скоростями 2,9 м/год (максимум — 16,6 м/год).

Прямолинейное неразветвленное русло между островами отличается стабильным положением динамической оси потока у правого коренного берега. В левобережной припойменной части формируются прирусловые отмели. Размывы пойменных берегов (средняя скорость 3,2, максимальная — 7,2 м/год) связаны с отклонением стрежня потока от правого берега за его выступами.

В узле разделения Малой и Горной Оби раздельная стрелка между ними вследствие размыва за 40 лет отступила вниз на 550 м. Скорость размыва ее правого берега со стороны Малой Оби — 2,2 м/год, максимальная — 3,5 м/год, левого со стороны Горной Оби — 2,6 и 3,8 м/год соответственно. Одновременно у правого берега на заходе в Горную Обь формируется побочень, расширившийся с 1976 до 2014 г. на 450 м, перекрывший большую ее часть, вызвав искривление и сужение судового хода, поворачивающего под углом 90°, прижимаясь к стрелке (левому берегу Горной Оби). Вместе с тем вдоль правого коренного берега развивается побочная протока, водность которой (по отношению к Горной Оби) уже составляет 55 %. Таким образом, в истоках Горной Оби за мысом правого берега происходит периодический рост побочня, последующее его отторжение и надвижение на раздельную стрелку. Размыв стрелки приводит к расширению и обмелению русла на заходе в Горную Обь.

В истоке Малой Оби благодаря аккумуляции наносов (расход взвешенных наносов по измерениям в половодье уменьшается с 765 до 587 кг/с) формируется перекат, деформации которого заключаются

в увеличении размеров верхнего побочня возле раздельной стрелки, смещении динамической оси потока к левому берегу и к нижнему левобережному побочню. Затем верхний побочень отторгается, образуя мелководье в левобережной стороне русла, а вдоль правого берега вытягивается плесовая ложина.

Переформирования Малой Оби осуществляются на фоне направленного рассредоточения стока по рукавам развоенного русла (сначала в Тоготскую Обь (рис. 3, а), а затем в протоку Вайсову) и пойменным протокам (Лапорская, Пырсим и др.). Русло Малой Оби представлено излучинами, характеризующимися продольным смещением — размывами вогнутых берегов в нижних крыльях (средняя

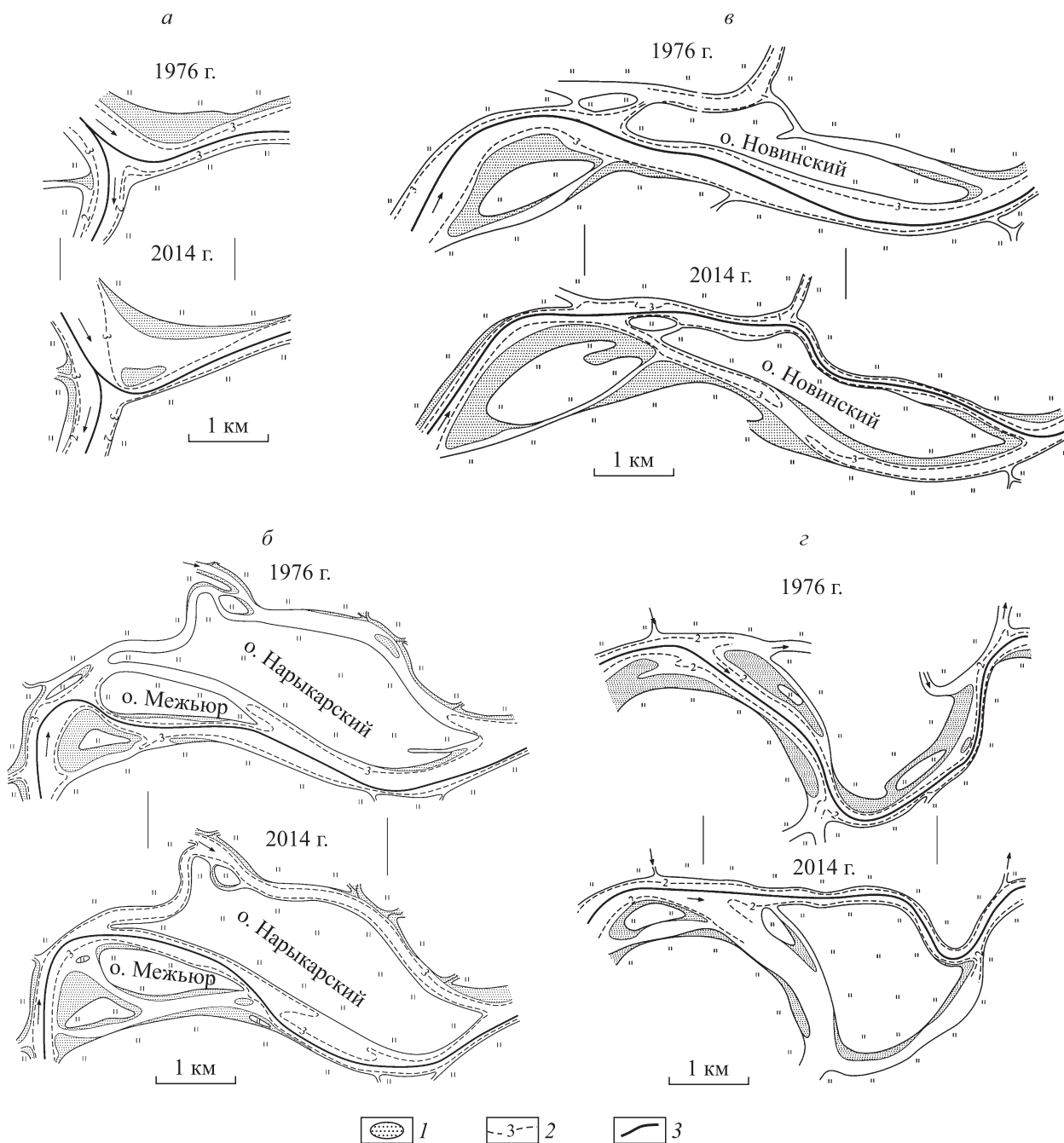


Рис. 3. Переформирования русла Малой Оби (сопоставленные планы 1976 и 2014 гг.) в узле разветвления с Тоготской Обью (а), в Межьюрско-Нарыкарском (б) и Лапорско-Новинском (в) разветвлениях и формирование прорванной Чуельской излучины на Горной Оби (г).

1 — прирусловые отмели (осередки); 2 — изобата 3 м; 3 — динамические оси потока.

скорость — 3,1, максимальная — 7,6 м/год), и лишь пять излучин — поперечным, причем только у двух размыты вогнутых берегов во всей привершинной части равны 4,2 и 7,5 м/год соответственно. У остальных крутых излучин $r = b_p$ (b_p — ширина русла), т. е. нарушено условие безотрывного обтекания потоком берегов, его стрежень смещен к выпуклому берегу, и размыв вогнутого не столь интенсивен (средний 2,3, максимальный 3,8 м/год). На Тоготской и Межьюрской излучинах этого не происходит из-за оттока воды по спрямляющим протокам или в Тоготскую Обь, или Нарыкарскую протоку.

В одиночных разветвлениях, рукава которых образуют излучины, средние и максимальные размыты вогнутых берегов составляют 3,6 и 10,1 м/год соответственно. Прямолинейные неразветвленные участки отличаются слабыми деформациями, самыми низкими скоростями размыва берегов — 1,9 и 5,1 м/год, ниже истока протоки Вайсова при наименьшей водности Малой Оби — 1,1–1,3 м/год.

Размыты вогнутых берегов привели к образованию «проранов» между Малой Обью и крупными пойменными протоками, которые, перехватив часть расхода воды из главного русла, образовали вместе с ним пойменно-русловые разветвления — Межьюрско-Нарыкарское и Лапорско-Новинское (см. рис. 3, б, в). Развитие Межьюрской излучины (см. рис. 3, б) неоднократно приводило к размыву перемычек, отделяющих Малую Обь от ее пойменных протоков, причем остатки перемычек в виде островов сейчас составляют шпору излучины. В Лапорско-Новинском разветвлении (см. рис. 3, в) нижняя часть бывшей пойменной протоки превратилась в судоходный рукав, в котором берет начало Лапорская протока, впадающая в р. Северную Сосьву.

Ниже слияния с Тоготской Обью стрежень потока в прямолинейном русле последовательно располагается вдоль правого и левого берегов, а затем возле правобережных островов односторонних разветвлений, вызывая их размыв (с оголовка за 38 лет — на 500 м); произошло формирование одиночного разветвления (в 1976 г. это был осередок) и общее расширение русла почти на 800 м из-за размыва берегов. Следствием этого стало уменьшение глубин на перекатах и блуждание на них фарватера.

При ответвлении протоки Большой Нюрик разделяющая стрелка размывается со скоростью 2,6 м/год. Перед ней в местном расширении русла формируется отмель, периодически надвигающаяся на стрелку и отторгающаяся от нее, вследствие чего здесь регулярно меняется положение фарватера.

В протоке Большой Нюрик, увеличивающей в половодье водность к устью в 2,6 раза, деформации русла заключаются в развитии излучин, их продольном смещении и увеличении кривизны. Средняя скорость размыва берегов по длине протоки возрастает от 1,8 до 2,4 м/год.

На Горной Оби существенные переформирования отмечены в начале судоходного рукава раздвоенного русла. Они связаны со спрямлением Чульской излучины (см. рис. 3, г), ее превращением в прорванную и с последующими размывами в новом русле. Это отличает данную излучину от других прорванных, в которых основной поток сохраняется в старых руслах, находящихся под направляющим воздействием крупных мысов правого коренного берега (в них отмечены максимальные размывы вогнутых берегов — до 6,8 м/год), тогда как спрямляющие рукава отходят почти под прямым углом и не получают достаточного развития. В одиночных разветвлениях в верхней части Горной Оби, где она проходит вдоль коренного берега, образованных элементарными и малыми островами (есть только один большой — о. Вунтыас-Пугор), левые пойменные берега размываются со скоростью 1,8 м/год (максимальная — 6,8 м/год). Острова в основном стабильны, так как находятся в местных расширениях русла ниже мысов коренного берега. Излучины русла, преобладающие ниже с. Полноват, имеют продольное и продольно-поперечное смещение со скоростями размыва берегов 2,1 (средние) и 5,9 м/год (максимальные). Прямолинейное русло между островами относительно стабильно, и лишь местами, где поток отклоняется выступами коренного берега к левобережной пойме, уступы отступают от 2 до 4 м в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые дана характеристика русловых процессов нижней Оби в продолжение последовательной публикации результатов исследования наименее изученных их участков. Ранее с той или иной степенью новизны и детальности (для широтного участка также впервые) были рассмотрены условия формирования, гидроморфология и морфодинамика русла средней Оби. Ниже слияния с р. Иртышом геоморфологическое строение территории обуславливает сначала сбор реки в едином русле вдоль правого коренного берега (Белогорский материк), в котором чередуются одиночные разветвления с прямолинейными неразветвленными участками. У с. Перегребного, где от реки отходит коренной берег, начинается раздвоенное русло — разветвление Оби на сложную систему рукавов (до четырех) и многочисленных пойменных протоков, некоторые из которых соединяются с левым притоком Оби — р. Северной Сосьвой. Рассредоточение стока по рукавам раздвоенного русла и пойменным протокам обуславливает постоянное изменение вниз по течению условий руслоформирования, создавая анало-

гию с дельтовыми разветвлениями. Однако затем, в отличие от них, происходит слияние большинства рукавов и восстановление разделения Оби на два основных рукава — Малую и Большую Обь — в лево- и правобережных частях днища долины. Все рукава раздвоенного русла отличаются своими морфодинамическими типами русла и интенсивностью деформаций в зависимости от изменения их водности и геоморфологических условий.

Выявленные закономерности, помимо общенаучного значения (закрыто «белое пятно» в географии русловых процессов), очень важны для обоснования проектов использования водных ресурсов и развития водного пути.

Работа выполнена по госзаданию кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева Московского государственного университета (АААА–А16–116032819084–0) (исходные материалы, параметризация русловых процессов и их типизация) при финансовой поддержке Российского научного фонда (18–17–00086 — натурные исследования, гидро-морфология русловых разветвлений и раздвоенного русла нижней Оби) и Российского фонда фундаментальных исследований (19–35–90101 — переформирования излучин и прямолинейных широкопойменных участков русла), а также при технической поддержке ФБУ «Администрация Обь-Иртышского бассейна внутренних водных путей» и Ханты-Мансийского окружного управления водных путей и судоходства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Трепетцов Е.В.** Деформации берегов р. Оби в Тюменской области // Эрозия почв и русловые процессы. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. — Вып. 3. — С. 276–284.
2. **Герасимова А.С.** Характеристика современных геологических процессов, развитых в долинах нижнего течения рек Оби и Иртыша // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология, почвоведение, геология, география. — 1959. — № 2. — С. 103–111.
3. **Атлас Ханты-Мансийского автономного округа** — Югры. Т. 2: Природы и экологии Ханты-Мансийского АО. — Ханты-Мансийск: Изд-во ХМАО, 2005. — 152 л.
4. **Чалов Р.С.** Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. — М.: КРАСАНД, 2011. — 960 с.
5. **Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской долины и дельты Волги** // Труды Прикаспийской экспедиции / Под ред. М.А. Глазовской, А.Н. Ракитникова — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. — 450 с.
6. **Зайцев А.А., Коротаев В.Н., Свиточ А.А.** Нижняя Волга. Геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика. — М.: ГЕОС. 2002. — 242 с.
7. **Борик С.А.** Комплексные экспериментальные исследования и оценка влияния русловых карьеров на гидрологический режим равнинной реки (на примере нижнего Днестра): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Одесса: Изд-во Одес. гидрометеорол. ин-та, 1987. — 17 с.
8. **Смирнова В.Г.** Гидролого-морфологический анализ разветвленных русел рек Алтайского региона: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2002. — 20 с.
9. **Зима Ю.В.** Современные руслоформирующие процессы реки Аргунь // География и природ. ресурсы. — 2009. — № 1. — С. 162–165.
10. **Завадский А.С., Зима Ю.В.** Естественные и антропогенные изменения русла р. Аргунь (в свете ее пограничного положения) // Водное хозяйство России. — 2010. — № 4. — С. 4–16.
11. **Махинов А.Н.** Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — 232 с.
12. **Rosgen D.L.** A classification of natural rivers // Catena. — 1994. — N 22. — P. 169–199.
13. **Knigton D.** Fluvial Forms and Processes: A New Perspective. — London: Arnold; New York: Oxford Univ. Press, 1998. — 398 p.
14. **Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P.** Fluvial Processes in Geomorphology. — San Francisco: Freeman, 1964. — 522 p.
15. **Карта реки Обь. От устья реки Иртыш до города Салехард** / Под ред. Д.С. Мальгина. — Л.: Изд-во при Управл. Волго-Балт. водного пути им. В.И. Ленина, 1976. — 97 л.
16. **Карта реки Обь. От устья реки Иртыш до города Салехард** / Под ред. А.А. Задачаина. — Омск: ФБУ «Администрация “Волго-Балт”», 2014. — 174 с.
17. **Официальный сайт Национального центра Геологической службы США** [Электронный ресурс]. — <https://www.usgs.gov> (дата обращения 03.05.2021).
18. **Чалов Р.С., Чалов С.Р.** Структурные уровни и морфодинамическая классификация русловых разветвлений // Водные ресурсы. — 2020. — Т. 47, № 3. — С. 259–271.

Поступила в редакцию 12.05.2021

После доработки 09.12.2021

Принята к публикации 29.12.2021