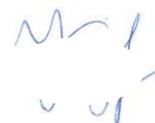


МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи



Куракова Анна Александровна

**Гидролого-морфодинамический анализ русел и опасные
проявления русловых процессов на равнинных реках
Обь-Иртышского бассейна (лесная зона)**

1.6.16 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Научный руководитель:

доктор географических наук, профессор

Чалов Роман Сергеевич

Москва – 2022

Оглавление

| | |
|--|-----|
| Введение..... | 4 |
| Глава 1. Современные представления о русловых процессах и их изученность на равнинных реках..... | 11 |
| 1.1. Типы русловых процессов и морфодинамические классификации русел рек..... | 11 |
| 1.2. Развитие русловых процессов в различных природных условиях | 19 |
| 1.3. Оценка опасности русловых процессов | 23 |
| 1.4. Изученность русловых процессов Обь-Иртышского бассейна | 30 |
| Глава 2. Условия формирования русел рек бассейна | 36 |
| 2.1. Физико-географическая характеристика геолого-геоморфологическое строение | 36 |
| 2.2. Гидрографическая характеристика и гидрологический режим | 39 |
| 2.3. Специфические условия развития русловых процессов..... | 50 |
| 2.4. Антропогенные факторы русловых процессов | 52 |
| Глава 3. Исходные материалы и методы исследования | 57 |
| 3.1. Использованные материалы | 57 |
| 3.2. Методы исследования | 62 |
| Глава 4. Гидролого-морфодинамическая характеристика русел рек бассейна..... | 70 |
| 4.1. Морфодинамические типы русла и их распространение на реках бассейна..... | 70 |
| 4.2. Рассредоточение стока в разветвлениях русла | 84 |
| 4.3. Гидролого-морфологический анализ русел рек бассейна | 93 |
| Глава 5. Размывы берегов на реках бассейна | 101 |
| 5.1. Распространение размываемых берегов и скорости размыва на реках бассейна | 101 |
| 5.2. Влияние рассредоточения стока воды в разветвлениях русла на интенсивность размывов берегов..... | 111 |
| 5.3. Структура потока в руслах разного типа и гидравлические характеристики потока, их связь с размывами берегов | 117 |
| Глава 6. Деформации русел как форма проявления опасности русловых процессов на реках бассейна | 129 |
| 6.1. Русловые деформации как фактор опасных проявлений русловых процессов..... | 129 |
| 6.2. Устойчивость русла как критерий опасности русловых процессов | 141 |
| 6.3. Районирование бассейна и ранжирование участков крупнейших рек по условиям размыва берегов..... | 149 |
| 6.4. Гидролого-морфологический анализ размывов берегов | 155 |
| 6.5. Учет опасности русловых процессов и их прогнозные оценки при водохозяйственном освоении рек..... | 175 |

| | |
|------------------------|-----|
| Заключение..... | 188 |
| Список литературы..... | 190 |
| Приложение 1..... | 207 |
| Приложение 2..... | 211 |
| Приложение 3..... | 242 |

Введение

Актуальность исследования. Опасность русловых процессов определяется деформациями русел, которые приводят к разрушению или угрозе разрушения, созданию аварийной ситуации или выводят из эксплуатационного состояния коммуникации, инженерные сооружения, хозяйственные и другие объекты жизнедеятельности, расположенные на берегах и в руслах рек. Одна из наиболее опасных форм проявления русловых деформаций – размывы берегов рек, создающие реальную или потенциальную угрозу разрушения населенных пунктов, инженерных и других объектов, могущие приводить к неблагоприятным ситуациям и причинять ущерб водному хозяйству и инженерным объектам на приречных территориях [Чалов, 2022]. Особенно большое значение оценка размывов берегов рек имеет для Западной Сибири как важнейшего нефтегазового региона страны, поскольку реки формируют русла на всем своем протяжении в свободных условиях развития русловых деформаций, характеризуясь повсеместным распространением размываемых берегов, причем темпы размыва неодинаковы, определяясь различными факторами, разнообразием размеров (водоносностью) рек и их рукавов, морфодинамическим типом русла и, следовательно, спецификой русловых переформирований и их опасных проявлений в разных частях региона и на разных реках.

В настоящее время имеет место существенный пробел в изучении русловых процессов, их опасных проявлений и, соответственно, размывов берегов на реках Обь-Иртышского бассейна, в том числе на больших и средних реках. Детальные исследования русловых процессов выполнялись только на Оби, но они были сосредоточены на юго-востоке региона, в верхнем и частично среднем течении, в пределах Томской, Новосибирской областей и Алтайского края [Попов, 1962; Маккавеев, и др., 1969; Беркович и др., 1981; Русловые..., 2001], и почти не проводились (или выполнялись на отдельных небольших участках в связи с решением конкретных прикладных задач) в ее нижнем течении и на Иртыше, которые в результате образуют «белое пятно» в региональном русловедении. Дефицит исследований, особенно с учетом сложных и разнообразных условий формирования русла, развития русловых деформаций и размывов берегов, приводит к недостаточной проработке научных обоснований проектов использования водных ресурсов, прокладки через реки коммуникаций, снижению качества прогнозов русловых переформирований на реках разных размеров.

Все это определяет актуальность диссертационного исследования, которая подчёркивается тем обстоятельством, что размывы берегов наиболее полно по своим темпам и распространению отражают развитие тех или иных форм русла, являясь

важнейшей характеристикой деформаций излучин, разветвлений и их разновидностей. Однако зависимость их показателей от типа русла, его параметров и т.д. остается сейчас неизменно изученной, ограничивая возможности прогнозирования русловых деформаций.

Цель исследования – гидролого-морфодинамический анализ русел равнинных рек лесной зоны Обь-Иртышского бассейна, выявление закономерностей опасных русловых деформаций (размывов берегов рек) и их связей с природными факторами и типами русла, разработка методологии их оценки и прогнозирования.

Для достижения этой цели решались следующие взаимосвязанные **задачи**:

1. Обобщение существующих методов и подходов к оценке опасности русловых процессов (размывов речных берегов);
2. Выявление закономерностей распространения морфодинамических типов русла в бассейне и условий их развития;
3. Анализ многолетних горизонтальных русловых деформаций на основе сопоставления космических снимков и карт русел (лоцманских карт) за различные временные интервалы, результатов натурных исследований и выявление их связей с водоносностью рек и гидравлическими характеристиками потоков;
4. Разработка гидролого-морфодинамических связей и соотношений, характеризующих условия и закономерности размыва берегов;
5. Оценка опасности размыва берегов на реках бассейна, обоснование их количественных и качественных показателей;
6. Прогнозные оценки возникновения и развития опасных русловых процессов (размывов берегов) для их учета при освоении водных ресурсов и приречных территорий.

Объект исследования – крупнейшие реки Обь (от устья р. Томи до г. Салехарда) и Иртыш (от устья р. Тары до слияния с Обью), большие и средние реки – притоки Оби и Иртыша в пределах лесной зоны – Томь (120-0 км), Чулым (400-0 км), Кеть (556-0 км), Тым (311-0 км), Вах (771-0 км), Тромъеган (389-0 км), Аган (373-0 км), Лямин (277-0 км), Казым (444-0 км), Полуй (397-0 км), Парабель (246-0 км), Васюган (470-0 км), Большой Юган (294-0 км), Северная Сосьва (153-0 км), Демьянка (311-0 км), Тобол (434-0 км), Тура (659-0 км), Тавда (730-0 км), Конда (735-0 км).

Предмет исследования – морфодинамические типы русла и размываемые берега на реках Обь-Иртышского бассейна.

Методы исследования. При выполнении натурных исследований производились измерения расходов воды в рукавах и протоках для определения распределения стока в разветвлениях русла и контрольные измерения в створах на неразветвленных участках, скоростных полей потока на излучинах русла с помощью доплеровского измерителя

течений, отбор проб донных отложений (руслообразующих наносов) с последующим гранулометрическим анализом и воды для определения оптической и реальной мутности. Одновременно производилась визуальная (по морфологическим признакам) оценка интенсивности размыва берегов, позволяющая контролировать результаты определений по космоснимкам. При обработке данных использовался метод гидролого-морфологического анализа, позволяющий устанавливать связи между морфометрическими и морфологическими параметрами форм русла (излучин, разветвлений), которым соответствует определенная структура потока, и динамическими характеристиками русловых деформаций (показателями размыва берегов), показателями устойчивости русла, гидравлических характеристик реки (скорости потока, абсолютные и относительные расходы воды и т.д.) и на этой основе разрабатывать прогнозные оценки перестроений русел. Ретроспективный анализ основывался на сопоставлении космических снимков и карт русел рек за разные временные периоды с середины XX века по 2010–2020 гг.

Фактический материал. В работе были использованы данные дистанционного зондирования Земли за различные годы (космические снимки), карты русла (ранее – лоцманские карты), хранящиеся в архиве и предоставленные научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ, крупно- и среднемасштабные топографические карты. Автор принимала участие в натурных экспедиционных исследованиях на средней Оби (от г. Нижневартовска до устья Иртыша и в районе г. Колпашево) в 2018 и 2021 гг., нижней Оби (от устья р. Иртыша до г. Салехарда) в 2019-2020 гг. и нижнем Иртыше (от г. Омска до слияния реки с Обью) в 2021-2022 гг. Использовались материалы камеральной обработки полученных материалов – скоростных полей на участки средней и нижней Оби и нижнего Иртыша, предоставленные м.н.с. А.А. Камышевым и м.н.с. П.П. Головлевым, рассредоточения стока по рукавам и протокам, а также материалы экспедиционных исследований русла средней Оби (от устья р. Томи до д. Соснино) в 2015 г, проведенные сотрудниками НИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ. Данные о размывах берегов на участке средней Оби (устье р. Томи – устье р. Ваха) были обработаны при участии Д.В. Большакова.

Научная новизна. Впервые был выполнен региональный анализ русловых деформаций и размывов берегов, закономерностей их распространения в Обь-Иртышском бассейне, которые до этого рассматривались только локально и на средней Оби. В ходе ретроспективного анализа впервые для средней и нижней Оби, нижнего Иртыша и их притоков были получены основные характеристики размыва берегов (протяженность и скорость) и их изменения по длине рек.

Гидролого-морфологический и морфодинамический анализ, ранее не применяемый для размывов берегов, позволил впервые выявить условия и закономерности горизонтальных русловых деформаций. Оценка устойчивости русел и размывов берегов на реках бассейна дала возможность ранжировать по опасности русловых процессов исследуемые участки Оби и Иртыша и выполнить районирование бассейнов средних и больших рек.

Полученные данные о русловых процессах на реках Обь-Иртышского бассейна, размывах берегов в зависимости от размеров рек, типов русел, рассредоточенности потока по пойме во время половодья и рукавам разветвлений – принципиально новое в географии русловых процессов, закрытие «белого пятна» в региональном русловедении и гидрологии рек.

Защищаемые положения:

1. В пределах лесной зоны Обь-Иртышского бассейна развитие и распространение размываемых берегов, скорости и протяженность фронта размыва определяются водоносностью (порядком рек), зональными изменениями водного режима, рассредоточением стока по рукавам разветвлений разного типа, морфодинамическим типом русла (как отражения гидравлической структуры потока) при относительной однородности геолого-геоморфологических условий.
2. Изменение скоростей размыва берегов вниз по длине крупнейших, больших и средних рек имеют разные тренды в зависимости от гидрологических характеристик рек, рассредоточения стока по пойме в половодье, рукавам разветвлений и пойменным протокам. На средней и нижней Оби и нижнем Иртыше выделяются участки с различными особенностями горизонтальных русловых деформаций, их притоки объединяются в районы по условиям размыва берегов.
3. Гидролого-морфологические зависимости носят региональный характер (по участкам Оби и Иртыша и районам, объединяющим остальные реки), имея общую направленность, дифференцируясь в зависимости от гидрологических условий и гидравлических характеристик потоков, морфодинамических типов русла, параметров форм русла, влияния коренных берегов и др.
4. Размывы берегов являются основным показателем опасности русловых процессов. Устойчивость русел и оценка опасности русловых процессов коррелирует с размывами берегов и их характеристиками. Зависимости между ними могут быть использованы для прогнозных оценок русловых

деформаций. Предложен ряд рекомендаций для безопасного и эффективного водохозяйственного и воднотранспортного освоения рек.

Практическая значимость. Проведенный гидролого-морфодинамический анализ русел позволил впервые установить общие закономерности горизонтальных русловых деформаций, распространения фронтов и интенсивности размыва берегов, выявить их зависимости от характеристик водного режима и гидравлики потока, геолого-геоморфологических условий формирования русла, морфодинамических типов русла, морфологических параметров форм русла; полученные региональные зависимости можно применять как при составлении прогнозных оценок, так и использовать для анализа неизученных рек в регионе.

Оценка опасности русловых процессов на реках бассейна, а также сделанные прогнозы переформирования русел и размывов берегов на ключевых участках дали возможность разработать ряд рекомендаций для безопасного и эффективного водохозяйственного и воднотранспортного освоения рек.

Личный вклад автора. Автор диссертации:

1. Участвовала в экспедициях НИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева на среднюю и нижнюю Обь (г. Колпашево, от г. Нижневартовска до г. Салехарда) в 2018-2021 гг, нижний Иртыш (от г. Омска до слияния Иртыша с Обью) в 2021-2022 гг;
2. Рассчитала характеристики размываемых берегов (средние и максимальные скорости, протяженность фронтов размыва берегов) и составила карту условий развития размыва берегов на реках Обь-Иртышского бассейна;
3. Провела расчеты устойчивости русел Оби и Иртыша и оценку опасности русловых процессов на их притоках;
4. Получила региональные зависимости на основе проведенного гидролого-морфологического анализа.

Результаты диссертационного исследования нашли отражение в научных отчетах по проектам РНФ «Разветвления русел равнинных рек (многорукавные русла): гидролого-морфодинамический анализ, гидрологические функции, временная трансформация, методы управления для обеспечения гидроэкологической безопасности» (проекты №№ 18-17-00086 и 18-17-00086 П), РФФИ «Экстремальные, специфические и катастрофические проявления русловых процессов: география, условия возникновения, прогнозирование, методология учета и предотвращения последствий» (проект № 18-05-00487) и «Гидролого-морфодинамический анализ русел и оценка опасных русловых

процессов на равнинных реках Обь-Иртышского бассейна (в пределах Российской Федерации) (грант РФФИ-Аспиранты)» (проект № 20-35-90003\20).

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на научном семинаре (Москва, май 2022 г) и ежегодных семинарах «Маккавеевские чтения» (Москва, декабрь 2019, 2021 гг) НИИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева; научном семинаре кафедры Гидрологии суши (Москва, май 2022 г); XXXV (Курск, октябрь 2020 г.) и XXXVI (Ижевск, октябрь 2021 г) пленарных межвузовских координационных совещаниях по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, X семинаре молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ (Набережные Челны, апрель 2022); международных конференциях IV Виноградовские чтения «Гидрология: от познания к мировоззрению» (Санкт-Петербург, декабрь, 2020 г) и 4th International Conference on the Status and Future of the World's Large Rivers (Москва, август, 2021 г); V Всероссийской научной конференции с международным участием «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях» (Москва, сентябрь, 2019 г).

Публикации. По результатам исследования подготовлено **16** публикаций, в том числе **7** статей в отечественных рецензируемых журналах, входящих в систему индексирования Scopus, WOS, РИНЦ, **9** статей в прочих журналах и периодических изданиях, **1** статья находится в печати.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации 249 страницы, содержит 27 таблиц, 90 рисунков. Приложения на 43 страницах представлены 5 таблицами и 16 рисунками. Список литературы включает 207 наименований, в том числе 26 на иностранных языках.

Благодарности. Автор искренне благодарен научному руководителю проф., д.г.н. Р.С. Чалову за профессиональное руководство диссертационной работой, постоянную помощь и всестороннюю поддержку, научным сотрудникам НИИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов Н.И. Маккавеева к.г.н., в.н.с. А.С. Завадскому, к.г.н., с.н.с. С.Н. Рулёвой и м.н.с. П.П. Головлеву за поддержку научных исследований, помощь и сотрудничество при выполнении полевых и камеральных работ, сотрудникам кафедры гидрологии суши МГУ за участие в обсуждении работы и рекомендации по ее улучшению. Автор выражает благодарность Администрациям Обского и Об-Иртышского бассейнов внутренних водных путей и их филиалам за предоставление материалов и возможностей

проведения полевых работ. Автор признателен своей семье за постоянную поддержку и внимание.

Глава 1. Современные представления о русловых процессах и их изученность на равнинных реках

1.1. Типы русловых процессов и морфодинамические классификации русел рек

Русловые процессы представляют собой сложное природное явление, изучение которого имеет прикладное значение для нужд судоходства и развития водного хозяйства. По Н.И. Маккавееву и Р.С. Чалову [1986], «русловые процессы – это совокупность явлений, связанных с взаимодействием потока грунтов, определяющих ложе реки, эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов, определяющих размывы дна и берегов рек, развитие различных форм русел и форм руслового рельефа, режим их сезонных, многолетних и вековых изменений».

Первые описания и попытки систематизировать имеющиеся сведения о формах русел были предприняты в конце XIX века, и сводились, главным образом, к выделению меандрирующих русел и разделению излучин на свободные и врезанные. Существенно меньше внимания уделялось разветвленным руслам [Краснов, 1897]. В конце XIX-начале XX века на фоне активного освоения водных путей и развития судоходства произошло формирование основ теории русловых процессов в работах инженеров-путейцев Н.С. Леляевского [1893] и В.М. Лохтина [1897]. В.М. Лохтин ввел понятие «устойчивость русла» и обосновал его показатель, ставшие основой одного из подходов к классификации речных русел и сравнительной оценки интенсивности русловых деформаций. М.И. Львович [1938], опираясь на число Лохтина, предложил первую классификацию русел по их устойчивости (интегральной оценке интенсивности русловых деформаций), которая впоследствии уточнялась и развивалась М.А. Великановым [1958], Н.И. Маккавеевым [1955, 1971] и Р.С. Чаловым [1979, 1997]; последние, помимо числа Лохтина, использовали его модификацию – коэффициент стабильности русла Н.И. Маккавеева K_c [Экспериментальная..., 1969, Чалов, 1979]. Соответствие показателей устойчивости различным физическим характеристикам интенсивности русловых деформаций (в том числе скорости и протяженности фронта размыва берегов) и условий развития различных типов русла рассматривалось в работах С.Т. Алтунина, З.И. Гринберг [1950], Н.И. Маккавеева [1955, 1971], А.В. Карашева [1975], Р.С. Чалова [1979, 2008].

Второй подход включает классификации, учитывающие развитость и формы грядового рельефа русла – главным образом, на уровне макроформ – перекатов [Маккавеев, 1949, Проектирование ..., 1964; Садовский, 1961; Чалов, 1979]. На реках стали выделять перекатные и плесовые участки, которые образуются вследствие изменения форм транспорта наносов и их аккумуляции. Типы и разновидности перекатов во многих

классификациях связываются с формами русла и их элементами, в которых они располагаются (прямолинейное русло, излучина или разветвление), так как каждой форме соответствуют определенные гидравлические условия, отражающиеся в режиме перестроения перекатов [Проектирование..., 1964, Чалов, 1979; Михайлова, 2014].

Третий подход к классификации речных русел основывается на учете кинематики потока, продольных уклонах, определяющих меру энергии потока, форму транспорта и крупности руслообразующих наносов. Первым, кто обратил внимание на отличие гидравлического и руслового режима горных рек от равнинных, был В.М. Родевич [1932]. Позднее было обосновано разделение рек по этим признакам на равнинные, полугорные и горные [Маккавеев, 1955; Алтунин, 1962; Талмаза, Крошкин, 1968; Чалов, 1969]. Изменения от истока в горах к устью продольного уклона и гидравлического режима рек привело к выделению типов русловых процессов, соответствующих горным, равнинным и полугорным рекам [Чалов, 1979, 2008].

Основной подход к типизации русел заключается в разработке классификаций, объединяющих речные русла по их морфологии и соответствующим им русловым деформациям, которые по своему содержанию являются морфодинамическими или гидролого-морфодинамическими [Чалов, 2008]. В отечественной научной литературе первой была предложена классификация К.И. Россинского и И.А. Кузьмина [1947, 1958], выделившими три основных независимых друг от друга типа русла – прямолинейные, извилистые и разбросанные русла, для которых характерны периодическое расширение, развитие излучин и блуждание русла, соответственно. О.В. Андреев и И.А. Ярославцев [1958] на равнинных реках выделяли немеандрирующие русла, где главной формой движения наносов выступают побочни, реже – острова, меандрирующие, имеющие извилистое русло, и блуждающие с постоянно изменяющимся руслом. В данной классификации разветвленные русла являются частным случаем немеандрирующего.

И.Ф. Карасев [1975] и Н.А. Ржаницын [1985] пытались учесть не только горизонтальные, но и вертикальные русловые деформации. Н.А. Ржаницын [1985] выделил «типы русловых режимов» на равнинных и горных реках, учитывая при этом форму долины, графически показал различия «структурных форм речного русла» в разных условиях. Формы грядового движения наносов при этом выступают в роли «типов руслового процесса»

В России широкое распространение во второй половине XX века получила классификация ГТИ, вошедшая в нормативную литературу (рисунок 1.1.1), основанная на работах И.В. Попова [1965] и Н.Е. Кондратьева [1982, 2000] и названная ими «типизацией руслового процесса». В этой классификации выделено 7 типов русла, располагающихся в

последовательности, по мнению ее авторов, увеличения транспортирующей способности потока (рисунок 1.1.1). Ведущий фактор в классификации – извилистость, что проявляется в выделении трех типов меандрирования, а если учитывать побочный тип, в котором в межень динамическая ось приобретает извилистый характер, – четыре. Разделение меандрирующего русла на три типа (свободное, ограниченное и незавершенное меандрирование) – наиболее сильная сторона подхода ГГИ. Однако разветвленные русла, будучи представлены всего двумя типами, не отражают реального их многообразия и морфологического, и по режиму деформаций. Прямолинейные русла не выделяются, но первые два типа в ней (побочный и ленточногрядовый) можно отнести к ним. Такой подход, к сожалению, не позволяет использовать выделенные типы для гидролого-морфологического анализа и оценки специфики опасности русловых процессов, в том числе размывов берегов. Развивая эту классификацию Н.С. Знаменская [1976, 1992], предложила выделять активные (формы грядового движения наносов) и пассивные (формирование типов русла, когда происходит закрепление гряд растительностью) процессы, что позволило ей разделить формы русла и формы руслового рельефа, их сопоставлять и отказаться от последовательности на основе изменения транспортирующей способности потока.

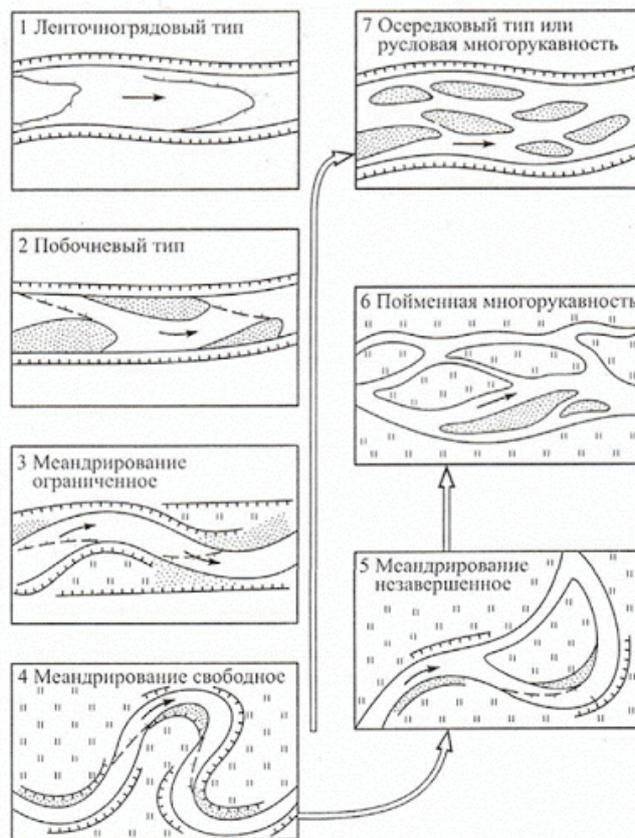


Рисунок 1.1.1 – Классификация русел рек ГГИ [Кондратьев и др., 1982]. Стрелками показано изменение транспортирующей способности потока

Н.И. Маккавеев [1955, Проектирование...,1964] выделял извилистость русла как главный фактор его типизации. На основе этого речные русла были разделены на меандрирующие и немеандрирующие, а последние, в свою очередь, на прямолинейные и разветвленные рукава. Для каждого типа русла были обоснованы свои схемы русловых деформаций, и дана классификация их разновидностей [Маккавеев, 1955, 1971]. В дальнейшем Р.С. Чалов [1979], развивая идеи Н.И. Маккавеева и основываясь на изучении русловых процессов на больших реках, предложил схему, которая неоднократно уточнялась в более поздних его работах [Чалов, 1996, 1997, 1998, 2008] и получила известность как морфодинамическая классификация МГУ (рисунок 1.1.2). В настоящее время она является наиболее полной, охватывающей практически все многообразие проявлений русловых процессов на реках в различных природных условиях.

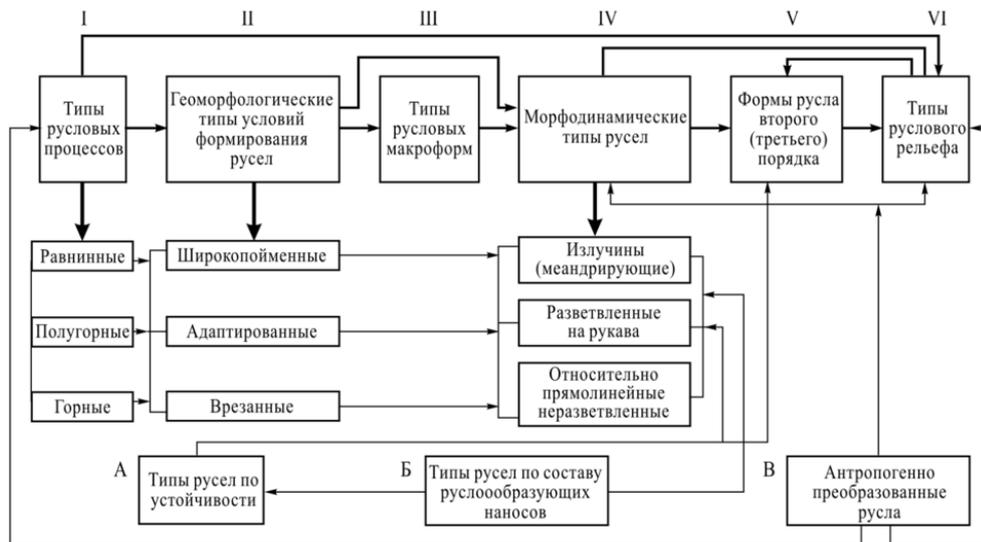


Рисунок 1.1.2 – Классификация речных русел МГУ. I...IV – основные блоки, A...B – дополнительные блоки [Чалов, 2008]

Классификация МГУ многоуровневая, состоящая из основных и дополнительных блоков, но в морфодинамическом блоке (IV на рисунок 1.1.2) она следует выводам К.И. Россинского и И.А. Кузьмина [1947] и Н.И. Маккавеева [1955; Проектирование ..., 1964] о независимости трех главных типов русел – прямолинейного, извилистого и разветвленного русла. В ней учитываются геолого-геоморфологические условия формирования русла, проявляющиеся в формировании широкопойменных, адаптированных и врезанных русел (на основе соотношения ширины русла b_p к ширине поймы B_p), отличия механизмов русловых процессов на равнинных, полугорных и горных реках и развитие форм русла второго и третьего порядков, осложняющих прямолинейное русло, излучины и разветвления, формы руслового рельефа и связанные с ними русловые деформации.

Отдельные блоки посвящены учету устойчивости русла, состава руслообразующих наносов и антропогенной измененности русел. При сочетании всех этих факторов формируется большой спектр типов русла, наиболее широко представленных на равнинных реках (рисунок 1.1.3). Наибольшее морфодинамическое разнообразие характерно для широкопойменных русел, где помимо различных уровней их разветвленности встречаются свободные, вынужденные и адаптированные излучины. Последние формируются при подходе русла к коренному берегу. Адаптированные и врезанные русла равнинных рек представлены сравнительно меньшими наборами разновидностей типов ввиду ограниченных условий развития русловых деформаций (узкая долина, трудноразмываемые или неразмываемые коренные берега и т.д.) [Чалов, 2008, 2017а]

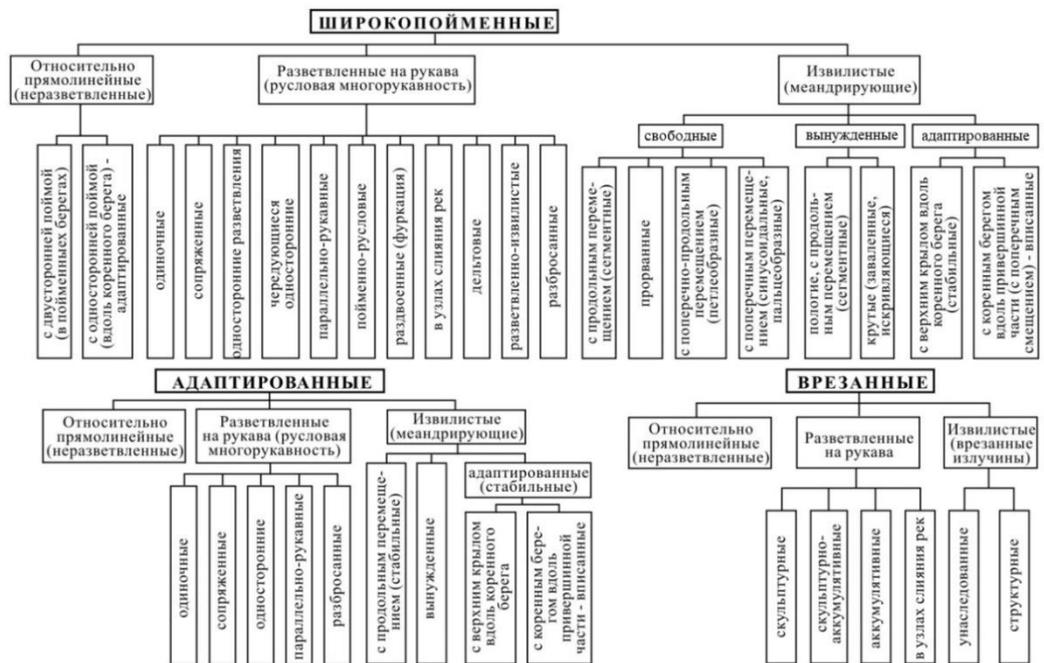


Рисунок 1.1.3 – Морфодинамические типы русел равнинных рек и их разновидности (блок IV на рисунок 1.1.2) [Чалов, 2008]

К.В. Гришанин [1972], приняв за основу типизацию ГГИ, расположил типы русла в соответствии с классификациями К.И. Россинского и И.А. Кузьмина и Н.И. Маккавеева, выделив прямолинейные однорукавные русла с побочными, меандрирующие (извилистые) и разветвленные русла. Дополнительно в меандрирующих руслах он рассматривал случаи вынужденных излучин при подходе к коренному берегу.

Первые попытка классификации речных русел зарубежными учеными были предприняты еще в конце XIX века, когда Г. Гилберт [Gilbert, 1877, 1914] предложил различать речные русла в аллювиальных и коренных берегах, что может быть аналогами, соответственно, широкопойменных и врезанных русел в отечественных классификациях.

Ф. Мелтон [Melton, 1936] был одним из первых среди американских ученых, кто выделил меандрирующие и разветвленные русла. Подход к классификации речных русел, разработанный Л. Леопольдом и М. Вольманом [Leopold, Wolman, 1957] имеет в своей основе принцип разделения русел на три главные группы, предложенный ранее К.И. Россинским и И.А. Кузьминым. Этот же принцип лежит в основе классификации речных русел С. Шумма [Schumm, 1972, 1979, 1981, 1985], изначально разделявший русла рек на однорукавные и многорукавные, но дополнив их данными о форме транспорта наносов (рисунок 1.1.4).

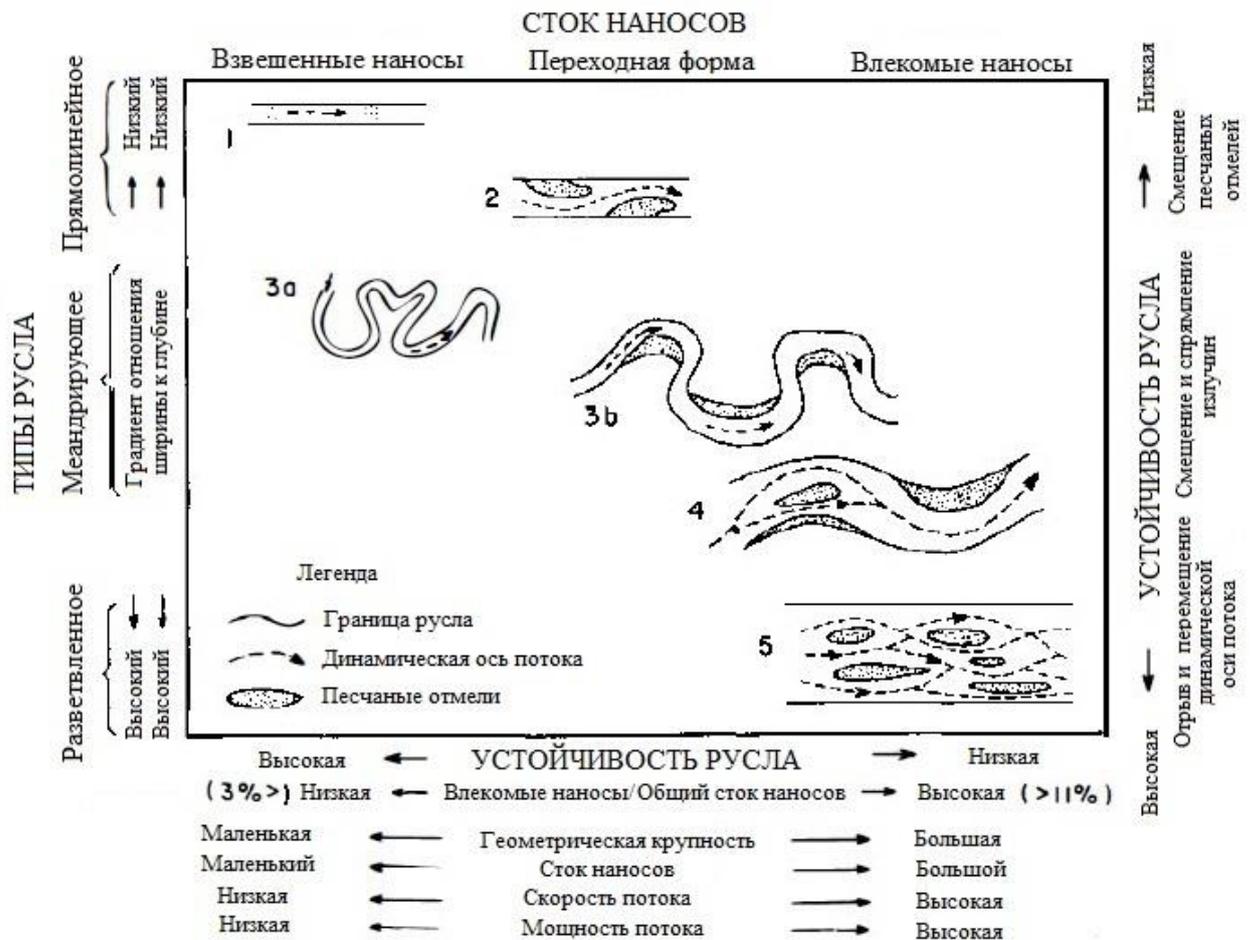


Рисунок 1.1.4 – Классификация речных русел С. Шумма [Schumm, 1981]

С. Шумм [Schumm, 198] выделял три главных типа русла (прямолинейные, меандрирующие и разветвленные), дополняя их характеристиками формы транспорта наносов и устойчивости русла и располагая в порядке перехода от устойчивого прямолинейного русла с преобладанием взвешенных наносов в общем стоке к многорукавным нестабильным руслам с преобладанием стока влекомых наносов.

Б. Раст [Rust, 1981], классифицируя русла, применил показатель их разветвленности, выделяя однорукавные и многорукавные. При этом осередковые русла он относил к многорукавным. Того же мнения придерживался и С. Шумм [Schumm, Khan, 1972].

Иной и более полный подход применил Д.Л. Росген [Rosgen, 1994]. Его классификация является одной из самых подробных среди зарубежных и наиболее приближающихся к отечественным. Она основывается на следующих показателях: врезанность (соотношение ширины поймы к ширине русла – $B_{п}/b_p$), уклон водной поверхности, извилистость (отношение длины русла к длине долины), форма поперечного сечения (отношение ширины русла к глубине b_p/h) и преобладающий состав руслообразующих наносов (от скальных русел до илистых отложений). Сочетание перечисленных признаков дает семь главных типов русла и еще большее количество его подтипов (таблица 1.1.1).

Обзор классификаций речных русел, разработанных китайскими учеными, дали Р.С. Чалов и др. [2000]. В основе их лежит принцип выделения трех главных типов русла, предложенный К. И. Россинским и И.А. Кузьминым, но с учетом специфических условий формирования русел рек юго-восточной Азии (муссонный режим стока, легкая размываемость лессовидных грунтов, огромный сток наносов при абсолютном преобладании взвешенных). Основное внимание уделяется широкопойменным равнинным рекам, особенно с блуждающим руслом (тип русла, особо выделяемый в классификациях и отличный от применения этого термина в отечественных – это реки с очень неустойчивым руслом, которое отличается большой шириной и постоянными и интенсивными переформированиями). Позже Шэн Юйчан и Гун Гоюань дополнили свои классификации типами для врезанных русел в горах [Чалов и др., 2000]. Самой популярной в Китае является классификация Цянь Нина и др. [1987], основанная на богатом материале по крупнейшим рекам мира, в том числе китайским, и включающая морфологическое описание каждого типа, а также оценку устойчивости и условий русловых деформаций на излучинах.

Для решения поставленных задач была принята классификация МГУ в связи с тем, что для рассматриваемых как крупнейших, так и больших и средних равнинных рек с широкопойменными руслами возможно выделить большое разнообразие их типов, и, следовательно, рассмотреть особенности распространения в них размываемых берегов.

Таблица 1.1.1 – Классификация речных русел Д.Л. Росгена [Rosgen, 1994]

| Врезанность V_{II}/b_p | Неразветвленные | | | | | | | | | | | | Разветвленные | | | | | |
|------------------------------------|------------------|----------|--------------|---------------------|--|------|--------------|--|------|--------------------|------|---------------------|-------------------|-------|------------|----------|---------------|-------|
| | врезанные (<1,4) | | | | умеренно врезанные (1,4-2,2) <i>адаптированные</i> ¹⁾ | | | слегка врезанные (>2,2) <i>широкопойменные</i> ¹⁾ | | | | | очень высокая >40 | | низкая <40 | | | |
| Отношение ширины к глубине b_p/h | низкая <12 | | | средняя-высокая >12 | | | средняя >12 | | | очень низкая <12 | | средняя-высокая >12 | | | | | | |
| Извилистость | малая <1,2 | | средняя >1,2 | | высокая >1,4 | | средняя >1,2 | | | очень высокая >1,5 | | высокая >1,4 | | | малая | | малая-высокая | |
| Тип русла | А | | G | | F | | B | | | E | | C | | | D | | DA | |
| Уклон, ‰ ²⁾ | >1 | 0,4-0,99 | 0,2-0,39 | <0,2 | 0,2-0,39 | <0,2 | 0,4-0,39 | 0,2-0,39 | <0,2 | 0,2-0,39 | <0,2 | 0,2-0,39 | 0,01-0,2 | <0,01 | 0,2-0,39 | 0,01-0,2 | <0,01 | <0,05 |
| Скальные (1) | A1a+ | A1 | G1 | G1c | F1b | F1 | B1a | B1 | B1c | | | C1b | C1 | C1c- | | | | |
| Валунные (2) | A2a+ | A2 | G2 | G2c | F2b | F2 | B2a | B2 | B2c | | | C2b | C2 | C2 c- | | | | |
| Галечно-валунные (3) | A3a+ | A3 | G3 | G3c | F3b | F3 | B3a | B3 | B3c | E3b | E3 | C3b | C3 | C3 c- | D3b | D3 | | |
| Галечные (4) | A4a+ | A4 | G4 | G4c | F4b | F4 | B4a | B4 | B4c | E4b | E4 | C4b | C4 | C4 c- | D4b | D4 | D4c- | DA4 |
| Песчаные (5) | A5a+ | A5 | G5 | G5c | F5b | F5 | B5a | B5 | B5c | E5b | E5 | C5b | C5 | C5 c- | D5b | D5 | D5c- | DA5 |
| Илистые (6) | A6a+ | A6 | G6 | G6c | F6b | F6 | B6a | B6 | B6c | E6b | E6 | C6b | C6 | C6 c- | D6b | D6 | D6c- | DA6 |

¹⁾ Курсивом – названия, соответствующие классификации МГУ

²⁾ Типы русла, выделенные по уклонам a+ – >1‰; ф – 1-0,4‰; b – 0,39-0,2‰; c – <0,2‰; c- – <0,01‰

1.2. Развитие русловых процессов в различных природных условиях

Русловые процессы являются результатом сочетания большого количества определяющих их факторов. С одной стороны, русловые процессы подчиняются законам гидромеханики, обуславливающие при взаимодействии водного потока и ложа реки формирование как форм самого русла, так и форм его рельефа, и, как следствие, транспорта и аккумуляции наносов. С другой стороны, русло формируется в конкретных географических условиях (водный режим и сток наносов, геологическое строение территории, тектонические движения, рельеф, состав горных пород, слагающих бассейн, климатические условия, почвенно-растительный покров), а также под воздействием антропогенного вмешательства [Чалов, 2008, 2017].

Сток воды и наносов, как составляющие гидрологического режима, в полной мере отражают природные условия территории, по которой протекают реки, подчиняются закону географической зональности. Поэтому распространение морфодинамических типов русла или форм руслового рельефа, являющихся отражением условий транспорта руслообразующих наносов, характерно для той или иной природной зоны, и в то же время различия во внутригодовых и многолетних колебаниях стока воды и наносов определяют региональные особенности руслового режима рек [Callander, 1978; Nanson, 1980]. Это позволяет говорить не только о зональных, но и региональных и местных особенностях проявлений русловых процессов. При этом гидромеханический характер образования русла определяет их проявление вне зависимости от сложившейся природно-исторической обстановки, т.е. интразональность русловых процессов. Пространственный масштаб особенностей руслового режима связан с его изменениями в широтном или меридиональном направлении, выражаясь в условиях прохождения руслоформирующих расходов воды, водоносностью рек и их размерами. Местные особенности обусловлены геолого-геоморфологическими факторами, т.е. являются азональными. Важную роль играет размер реки и ее бассейна. Большие и крупнейшие реки обычно полизональны, так как их русловый режим формируется под влиянием ряда природных зон и постепенно трансформируется в той или иной степени по длине реки. Малые реки полностью зависят от местных природных условий [Чалов, 2008, 2017].

Все факторы, воздействующие на русло можно разделить по форме проявления на активные и пассивные. Первые представлены стоком воды и наносов, определяющих сам процесс руслоформирования. Пассивные факторы – внешние по отношению к потоку, к которым последний либо приспосабливается (геологическое строение территории, рельеф и т.д.), либо их видоизменяет (морфология русла, пойма и т.д.), либо они служат источником наносов (эрозия почв и грунтов на водосборе, склоновые процессы и т.д.). При этом воздействие пассивных факторов на русла рек и проявление русловых процессов имеет прямую (например, размыв

берегов) и косвенную форму. В последнем случае это происходит через промежуточные звенья, например, почвенно-растительный покров, контролирующей эрозионную активность на водосборе, наличие многолетнемерзлых пород, определяющих режим стока наносов [Чалов, 2008, 2017а].

Сток воды – главный ведущий фактор русловых процессов, непосредственно влияет на морфометрические характеристики русла. Тесную связь с средним максимальным расходом воды имеет отношение h/b_p [Ржаницын, 1985]. Помимо параметров русла, расход воды определяет размер излучин, основные параметры которых (r, L) увеличиваются от истока к устью, а также на форму продольного профиля – чем больше Q , тем меньше L , т.к. форма продольного профиля водной поверхности $QL=const$. Рост расходов воды также способствует размыву берегов и углублению плесов, при снижении водности, наоборот, происходит отложение наносов и образование перекатов [Маккавеев, 1955]. Внутригодовая изменчивость стока обуславливает сезонные переформирования русел [Чалов, 2008, 2017а].

При недостаточности гидрологической информации расходы воды определяются по зависимости $Q=f(F^n)$ для конкретных речных бассейнов [Соколовский, 1968]. Другой способ – использование изменений морфологических и гидрологических характеристик с увеличением порядка реки N (модели Р.Е. Хортон, А.Н. Стралера – В.П. Философова, Н.А. Ржаницына, А.Е. Шайдеггера и др.). Подход А. Шайдеггера чаще всего используется в гидрологии и исследованиях русловых процессов, что обусловлено простотой расчетов (все необходимые данные можно найти в справочной литературе) и возможностью учета всех водотоков (начиная с водотоков длиной менее 10 км). Известно, что малые и средние реки преимущественно меандрируют, а большие и крупнейшие – разветвляются на рукава [Чалов, 2008, 2017].

Русловые процессы во многом обусловлены транспортирующей способностью потока $W_{тр}$ – максимальное количество наносов, которое может переносить поток при данных гидравлических характеристиках. Увеличение стока наносов при неизменной транспортирующей способности потока приводит к их аккумуляции – накоплению наносов, образованию аккумулятивных форм ($W > W_{тр}$), а уменьшение ($W < W_{тр}$) – размыву русла, его дна и берегов. Это выражается в горизонтальных (образование побочной и отмелей, размывы берегов) и вертикальных (повышение и понижение отметок дна) деформациях [Чалов, 2008, 2017а]. Сток воды тесно связан со стоком наносов зависимостью $W=f(Q^m)$, где m близко к 2 или 3 в зависимости от крупности руслообразующих наносов [Маккавеев, 1955]. Соответственно, слияние рек или впадение притоков приводит к росту транспортирующей способности объединенного потока.

Общий *сток наносов* складывается из стока взвешенных W_R , образованных илом, песком и переносимых во взвеси, и стока влекомых W_G наносов, образующих грядовые формы руслового

рельефа из песка, гравия, гальки и валунов, смещающихся по длине реки. Если транспортирующая способность потока реализуется за счет взвешенных наносов, и они составляют большую часть руслообразующих наносов, то на реке наблюдаются высокие темпы русловых переформирований. Преобладание влекомых наносов в общем стоке наносов при прочих равных условиях приводит к повышению устойчивости русла и формированию на больших и крупнейших реках сложных разветвлений русла (р. Лена) [Чалов, 2008, 2017].

Геолого-геоморфологические условия определяют характер проявления русловых деформаций (свободные или ограниченные), уклоны и состав руслообразующих наносов [Ferguson, 1973; Engelund, Skovgaard, 1973; Richards, 1982; Braun, 1983]. Равнинные реки на фоне небольших уклонов чаще всего формируют широкие поймы, преимущественно песчаные русла, подверженные активным переформированиям. Для оценки условий развития русловых деформаций было предложено соотношение ширины поймы $B_{п}$ к ширине русла $b_{р}$. Соотношению $B_{п} < b_{р}$ (или пойма отсутствует) соответствует условиям ограниченного развития русловых деформаций, формируются врезанные русла. Свободным условиям развития русловых деформаций имеют большие реки с $B_{п} > (2...3)b_{р}$ (средние и малые реки с $B_{п} > (5...7)b_{р}$). Промежуточными (или адаптированными) условиями характеризуются реки с соотношением $b_{р} \leq B_{п} \leq (2...3)b_{р}$ или $b_{р} \leq B_{п} \leq (5...7)b_{р}$ в зависимости от их размера. Дополнительный критерий для оценки условий развития русловых процессов служит соотношение ширины дна долины и пояса меандрирования (разветвления): $B_{д} \approx B_{м(рв)}$ [Чалов, 1997, 2008]. В этом отношении все реки лесной зоны Обь-Иртышского бассейна формируют свои русла в свободных условиях развития русловых деформаций и являются широкопойменными.

Важную роль на водосборах равнинных рек играют эрозия почв, осуществляемая временными склоновыми нерусловыми потоками, и овражная эрозия, возникающая в ходе деятельности склоновых русловых потоков. Они являются источником поступления в русло взвешенных наносов и играют существенную роль в формировании бассейновой составляющей стока наносов [Эрозионно-русловые..., 2017].

Формы русла и формы руслового рельефа также являются существенным фактором в развитии русловых процессов. Сформированные в ходе взаимодействия потока с ложем реки, эрозии, транспорта и аккумуляции наносов, они сами в обратной связи оказывают влияние на гидравлику потока. Циркуляционные течения и скоростные поля потока, возникающие на изгибе русла (на излучинах и в узлах разветвлений), приводят постепенно к формированию и дальнейшему развитию излучин и разветвлений [Bagnold, 1960; Levin, 1977; Fredsoe, 1978].

Формирование осередков, а при их зарастании – островов, и разветвление русла приводит к перераспределению стока воды и наносов, что отражается в морфологии русловых разветвлений, параметрах рукавов и протоков и гидравлических характеристиках потока.

Колебания уровней воды оказывают влияние на положение динамической оси потока, что отражается на сезонных и многолетних переформированиях излучин и разветвлений [Чалов, 2008].

Климатические условия могут влиять на развитие русловых процессов не только через гидрологический режим, но и метеорологические факторы. Ветер, создавая неблагоприятные ветро-волновые условия, может на крупных реках спровоцировать усиление размывов наветренных берегов до 1,5 раз, особенно если направление течения совпадает с господствующими ветрами. В правом рукаве раздвоенного русла нижней Оби – Большой Оби – в штормовую погоду наблюдалось увеличение более чем в два раза количества взвешенных наносов в несудоходных рукавах русловых разветвлений в связи с повышением взмучивания наносов и активизацией воздействия при волнении потока воды на берега во время шторма (более 115 мг/л, тогда как до начала шторма максимальные значения не превышали 50-60 мг/л) [Чалов, Завадский, Камышев, Куракова и др., 2021]. При поперечном направлении ветра по отношению к руслу, ветровые нагоны могут спровоцировать повышение уровня воды у нагонного берега, и тогда к противоположному берегу донными течениями будут перемещаться наносы и формироваться прирусловые отмели. В середине XX в. отмечались случаи перевевания обсохших отмелей и прирусловых дюн на верхней Оби [Маккавеев и др., 1966; Русловые процессы..., 2001; Чалов, 2008].

Для рек, текущих с севера на юг, на русловые процессы существенное влияние оказывает ледовый режим (таковы нижняя Обь, Иртыш). Образование заторов в местах сужения русла, на крутых излучинах, в узлах разветвлений и слияния рек влечет за собой подъемы уровней воды, изменения морфологии русла (размывы берегов и развитие второстепенных рукавов в зоне подпора) и его размывы при прорыве затора ниже по течению.

Биологический фактор также оказывает прямое и косвенное воздействие. Прежде всего растительность оказывает влияние на гидроклиматические условия в долинах рек (перераспределяет осадки, влияет на испарение, формирует сток с территории, «гасит ветер» и т.д.) [Евсеева, Земцов, 1990]. Растительность на водосборе регулирует сток воды и наносов в русло реки [Лопатин, 1952], на пойме – изменяет гидравлические характеристики потока, замедляя его скорость, что способствует осаждению наносов [Чалов, 2008]. Растительность по берегам рек закрепляет своими корнями грунт и способна в 1,5-2 раза снизить скорости размыва берегов, особенно на малых реках. Так, в ельниках старше 40 лет корневая система может проникать до половины высоты берегов, а на берегах, покрытых сосновыми и березовыми лесами старше 40 лет – почти до их подошвы [Рубцов, Дерюгин, 1981]. Скопление в русле упавших деревьев, поступающих в результате размыва залесенных пойменных берегов или склоновых процессов на коренных берегах, может приводить к образованию заломов, очень характерных на

притоках средней и нижней Оби [Земцов, Бураков, 1977]. Они могут оказывать как разрушающее действие на берега рек, так и препятствовать размыву форм русла, у которых они формируются; образовывать плотины и перекрывать русла, способствуя их обмелению; перераспределять сток между рукавами разветвлений, вызывать развитие одного и отмирание другого [Земцов, 1976; С. Чалов и др., 2010]. Значительно быстрее размываются пойменные берега, покрытые кустарниками и луговой растительностью, в меньшей степени закрепляющие их, а также способствующие при прохождении руслоформирующих расходов при затопленной пойме развитию пойменной многорукавности, формированию прорванных излучин, а также спрямлению петлеобразных излучин путем встречного размыва берегов на ее крыльях [Чалов, 2008]. Значительно ускоряют размыв берегов на больших реках ласточкины гнезда (рисунок 1.2.1), разделяющие монолитный грунт верхней части береговых пойменных уступов на отдельные блоки [Чалов, 2008].



Рисунок 1.2.1 – Ласточкины гнезда в подмываемом берегу р. Иртыша

1.3. Оценка опасности русловых процессов

Русловые процессы – природные явления, которые несут угрозу разрушения населенных пунктов, выводят из строя инженерные сооружения и коммуникации, приводят к потере ценных сельскохозяйственных и лесных угодий, осложняют судоходство и затрудняют развитие водного хозяйства [Беркович и др., 1996, Чалов, 2019]. Поэтому их необходимо учитывать при освоении рек и приречных территорий.

Опасность русловых процессов, обусловленная горизонтальными или вертикальными русловыми деформациями, формированием или смещением аллювиальных гряд, проявляется в

прямой или косвенной форме в зависимости от пространственного и временного характера переформирования русла (таблица 1.3.1). Уязвимость хозяйственных систем перед опасными проявлениями русловых процессов – размывами и намывами берегов, спрямлением русла, развитием или отмиранием рукавов, изменением отметок дна, сезонными и многолетними переформированиями русла во многих случаях усугубляется вмешательством со стороны человека в естественный русловый режим рек [Чалов, 2019].

Размывы берегов, как одна из наиболее распространенных и ярких форм проявления опасных русловых процессов, обуславливаются как естественными причинами, так и могут быть усилены в ходе освоения рек и прибрежных территорий [Беркович и др., 2019]. Проектирование объектов жилищной и хозяйственной инфраструктуры или нарушения при их эксплуатации естественных процессов могут привести к созданию аварийных ситуаций, например, в створе мостовых переходов, на трубопроводах и других линейных коммуникациях, пересекающих русла и поймы рек, утрате ценных земель, угрозе разрушения береговых инженерных объектов и т.д.

Выделяют потенциальную и реальную опасность русловых процессов [Чалов, 2019]. В первом случае опасность присутствует всегда, и ее надо учитывать при освоении территории, зная закономерности и направленность развития процесса, вторая представляет собой уже существующую угрозу. Причем объект может быть построен тогда, когда опасности не было, но в ходе русловых деформаций она создалась. На реках со слабоустойчивым руслом в свободных условиях всегда есть потенциальная опасность размыва берегов.

В различных подходах к оценке опасности русловых процессов размывы берегов включены как один из главных факторов, характеризующих их интенсивность [Чалов, 2017б, Чалов, 2019]. Степень и частота проявления опасных русловых процессов зависит от устойчивости – интенсивности русловых переформирований, которая оценивается числами Лохтина L и коэффициента стабильности Н.И. Маккавеева K_c [Чалов, 2008, 2017]:

$$L = \frac{d}{I}, K_c = \frac{d}{I b_p} 1000,$$

где d – крупность донных наносов, мм; I – уклон, ‰ (в K_c – безразмерный); b_p – ширина русла реки, м.

Таблица 1.3.1 – Формы опасных проявлений русловых процессов и их следствия [Чалов, 2019]

| Виды русловых деформаций | Формы опасных проявлений | | Следствия русловых деформаций |
|------------------------------------|--|--|--|
| | Прямые | Косвенные | |
| Горизонтальные | <i>Размывы берегов</i> | <i>Местное увеличение мутности воды; активизация оползневых явлений, овражная эрозия</i> | <i>Разрушение инженерных объектов; оголение и провисание трубопроводов в прибрежной зоне; уничтожение земельных ресурсов</i> |
| | Намывы берегов | – | Занесение водозаборов и водовыпусков |
| | Спрявление/удлинение русла; развитие (отмирание) рукавов | Местные понижения/повышения уровней | «Уход» реки от населенных пунктов; удлинение водных подходов к причалам и портам; ликвидация нерестилищ, зимовальных ям, рейдов судов и т.д. |
| Вертикальные а) Врезание рек | Размывы и понижение отметок дна русла | Понижение уровней воды; понижение уровня грунтовых вод на пойме; активизация овражной эрозии и врезание притоков из-за понижения базиса эрозии: остепнение пойменных лугов | Оголение водозаборов; оголение и провисание трубопроводов; подмывы опор мостовых переходов; снижение продуктивности пойменных земель |
| б) Аккумуляция наносов | Повышение отметок русла | Наводнение; опесчанивание почв прирусловых и заболачивание притеррасных частей поймы; подтопление приречных земель; обмеление русел | Затопление населенных пунктов; ухудшение качеств приречных земель; ухудшение условий судоходства; заиление (занесение) нерестилищ; увеличение нагрузок на подводные трубопроводы |
| Смещение крупных аллювиальных гряд | Многолетние и сезонные переформирования рельефа русла, приводящие к постоянным изменениям отметок дна, положения отмелей, плесовых лощин | Временная активизация размывов берегов напротив побочней, осередков; периодическое обмеление и развитие рукавов вследствие надвижения гряд на узлы разветвления русел | Условия судоходства на реках, занесение дноуглубительных прорезей, нерестилищ; временное занесение водных подходов к населенным пунктам, причалам, портам |

В зависимости от градации устойчивости речных русел для них характерны определенные скорости размывов или намывов берегов (средние и максимальные) и смещения форм руслового рельефа (осередки и побочни), протяженность фронта размыва, периодичность горизонтальных русловых деформаций или развития рукавов. Выделяют русла от абсолютно неустойчивых (с высокой степенью интенсивности русловых деформаций) до абсолютно устойчивых, когда какие-либо русловые переформирования отсутствуют [Чалов, 2008, 2017а].

Первые исследования общей опасности русловых процессов относятся к последнему десятилетию XX века, когда была разработана интегральная оценка опасных их проявлений и принципы их картографирования [Чалов, Чернов, 1993; Беркович и др., 1998, Беркович и др., 2000]. Оценка была направлена на выделение основных явлений и процессов природного и антропогенного происхождения, которые могут оказать влияние на состояние русел и поймы больших и малых рек: естественные деформации речных русел (размывы берегов и смещение русел, смещение и формирование прирусловых отмелей и перекатов), неблагоприятные проявления естественных и антропогенных изменений гидрологического режима рек, заиление и деградация русел, механистические изменения русел рек и влияние гидротехнических сооружений. При таком подходе каждый фактор ранжировался в зависимости от степени его неблагоприятности и пересчитывался с учетом весовых коэффициентов, позволяющий учитывать его роль в создании опасной обстановки. На основе этого формировался единый интегральный балл опасности [Беркович и др., 2000, Чернов, 2010].

Обобщая все наработки по оценке опасных русловых процессов и методам их картографирования, была составлена для всех рек России классификация и карта опасных русловых процессов на российских реках [Чалов, Чернов и др., 2017, 2021] (рисунок 1.3.1).



Рисунок 1.3.1 – Распространение опасных проявлений русловых процессов на больших и малых реках России (*пунктиром выделена исследуемая область*)

Опасность на малых реках. Районы с природной опасностью: 1 – с практическим отсутствием опасности (1 балл), 2 – с малой опасностью (2 балла), 3 – с умеренной опасностью (3 балла). Районы с антропогенно-обусловленной опасностью: 4 – с отсутствием антропогенно-обусловленного заиления русла (1 балл), 5 – с локальным заилением малых рек (2 балла), 6 – с повсеместным заилением русел малых рек (3-4 балла), 7 – территория с отсутствием малых рек.

Опасность на больших и крупнейших реках: 8 – практически отсутствует, 9 – малая, 10 – умеренная, 11 – высокая, 12 – границы федеральных округов России [Чалов, Чернов и др., 2017].

Такой подход был применен для рек, протекающих по равнинным территориям [Чалов, Чернов и др., 2017]. Были выделены четыре степени опасности отдельно для малых и больших и крупнейших рек. Каждой группе соответствует свой балл опасности (от 0 – незначительно опасный до 4 – опасный) и соответствующий ему показатель устойчивости русла (L и K_c). Количественная оценка опасности определялась через параметры природных и антропогенно обусловленных факторов, приводящих к плановым изменениям русла и отметок дна: средняя скорость размыва берегов и смещения форм руслового рельефа, протяженность зон размыва, характер и периодичность горизонтальных деформаций, вертикальные деформации и степень антропогенной измененности русла. Согласно полученным авторами данных, большие и средние реки бассейна Оби характеризуются умеренной и высокой опасностью русловых процессов, которая

заключается, чаще всего, в размыве вогнутых берегов на свободных излучинах; наибольшей опасностью характеризуется р. Обь [Чалов, Чернов и др., 2017].

Позднее Р.С. Чалов [2019] переработал классификацию участков рек, опираясь на характер и интенсивность горизонтальных деформаций и устойчивость русла (таблица 1.3.2). Он выделил шесть степеней опасности проявления процессов при соответствующей устойчивости русла, которые ранжируются баллами от 0 (абсолютно устойчивые русла, опасность отсутствует) до 6 (абсолютно неустойчивое русло с очень высокой степенью опасности). Оценка баллов в 0 баллов достаточна условная, так как полностью безопасных рек не бывает. Так, берега скальных рек Восточной Сибири могут быть стабильны, но происходит, хотя и с малыми скоростями, смещение галечно-валунных гряд или занесение дноуглубительных прорезей, возникают прижимы течения к берегам, провоцируя их обвалы. Степень опасности горизонтальных деформаций зависит как от геолого-геоморфологических условий, так и от морфодинамического типа русла (прямолинейное, извилистое или разветвленное), так как для каждого характерен свой режим русловых деформаций в зависимости от стадии развития формы русла [Чалов, 2019].

А.С Завадский и др. [2019] применили другой подход к интегральной оценке опасности для бассейна р. Селенги. Критериями оценки выступали: морфодинамический тип русла; характеристики размыва берегов (скорость и протяженность), полученные на основе стационарных наблюдений, дешифрирования и сопоставления разновременных космических снимков; смоделированных характеристик водоносности, которые в совокупности с полученными с цифровой модели местности и топографических карт уклонами дна речных долин, дают величину удельной мощности потока:

$$N = \frac{\rho g Q I}{B} \text{ (Вт/м}^2\text{)},$$

где ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения, Q – характерный (руслоформирующий) расход воды, I – уклон дна долины, B – ширина потока. Каждый критерий ранжировался по баллам от 1 до 5, кроме размыва берегов, где максимум было 4 балла (5 – максимальный балл опасности по скорости размыва берегов в бассейне р. Селенги не встречается). Интегральная опасность русловых процессов складывалась из суммы баллов за каждый критерий для каждого 10-километрового участка реки и оценивалась по 4-х бальной шкале. Это позволило создать карту опасности русловых процессов на реках бассейна р. Селенги [Завадский и др., 2019].

Таблица 1.3.2 – Классификация участков рек по опасности проявления русловых процессов (горизонтальных деформаций) и степени устойчивости [Чалов, 2019]

| Степень опасности проявления процессов (характеристика устойчивости русел) | Показатель опасности, баллы | Показатели устойчивости русла | | Темпы русловых деформаций | | | | | |
|--|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|---|--|------------------------|---|--------------------------------------|--|
| | | <i>L</i> | <i>K_c</i> | Скорости смещения побочной (осередков), м/год | Скорости размыва (намыва) берегов, м/год | | Максимально возможные (экстремальные) скорости размыва берегов, м/год | Периодичность развития рукавов, годы | Протяженность зоны деформаций, % длины участка |
| | | | | | малые реки | средние и большие реки | | | |
| Очень высокая (абсолютно неустойчивые русла) | 5 | <0,5 | <2 | >1000 | >5 | >50 | >100 | 1-3 | около 100 |
| Высокая (неустойчивые русла) | 4 | 0,5-2 | 2-6 | 500-1000 | 2-5 | >10 | >50 | 3-10 | >80 |
| Повышенная (слабоустойчивые русла) | 3 | 2-5 | 6-15 | 300-500 | 0,5-2 | 5-10 | >20 | 10-20 | 60-80 |
| Умеренная (относительно устойчивые русла) | 2 | 5-10 | 15-20 | 250-300 | 0,1-0,5 | 2-5 | >10 | 20-80 | 30-60 |
| Слабая (устойчивые русла) | 1 | 10-50 | 20-100 | 10-50 | <0,1 | <2 | >5 | >80 | <20 |
| Отсутствует опасность (абсолютно устойчивые русла) | 0 | >50 | >100 | <10 | размыва нет | | | русло стабильное | |

Существуют также различные подходы и методы оценки размывов берегов, позволяющие делать прогнозные оценки русловых деформаций [Куракова, 2021]. В Государственном гидрологическом институте была предложена методика прогноза смещения излучин на основе их морфометрических характеристик на разных стадиях развития [Кондратьев и др., 1982]. В Производственном и научно-исследовательском институте по инженерным изысканиям в строительстве была разработана методика расчета скорости размыва берегов на основе сопоставления глубины русла и амплитуды уровней воды в разные фазы водного режима (половодье и межень), высоты берега и типа слагающего его грунта [Рекомендации ..., 1987]. Расчет скоростей размыва берегов может также производиться на основе их зависимости от стока воды [Rutherford, 2000]. Комплексный подход был предложен К.М. Берковичем [1982], основанный на связи размывов берегов с транспортирующей способностью потока, высотой берега и крупностью донных наносов. Г.Я. Эберхардс [1986] показал специфику отступления берегов на малых реках Прибалтики в зависимости от их геологического строения и фаз водного режима. Е.В. Камалова [1988] рассмотрела интенсивность отступления берегов на реках центра ЕТР при их размыве или разрушении берегов в результате спровоцированных подмывом оползней в зависимости от водоносности (были выделены шесть категорий рек по среднегодовым расходам от <50 до >1000 м³/с).

Другим направлением оценки размыва берегов является математическое моделирование, позволяющее выявить связь характеристик размыва берегов от разницы между скоростями течения у берега и на стрежне потока, свойств и прочности грунта, слагающего берега, влияния растительности и морфометрических характеристик русла (I – уклона, $h_{\text{бер}}$ – высоты берега, b_p – ширины русла и др.) [Ikeda, Parkeretal, 1981; Constantine, Dunneetal, 2009].

1.4. Изученность русловых процессов Обь-Иртышского бассейна

Фундаментальные труды по русловым процессам (русловедению), начиная с работ основоположников учения Н.С. Лелявского [1893], В.М. Лохтина, [1897] и последующих уже в середине – второй половине XX века монографий Н.И. Маккавеева [1955, 1971], М.А. Великанова [1958] И.В. Попова [1961, 1962, 1965], К.В. Гришанина [1972], Н.Е. Кондратьева, И.В. Попова и Б.Ф. Сниценко [1982], С.И. Пиньковского [1961, 1966], Р.С. Чалова [1979, 2008, 2011, 2019], «Эрозионно-русловые системы» [2017] стали основой для региональных исследований русловых процессов на реках как в целом России и смежных территорий [Попов, 1963; Русловой ..., 1994; Чалов и др., 2000], так и для отдельных

регионов и бассейнов: Пермского края [Назаров, Егоркина, 2004], Удмуртии [Рысин, Петухова, 2006], верхнего Амура [Гусев, 2002], средней и верхней Оби [Русловые процессы..., 2001], Северной Двины [Русловые процессы..., 2012], Лены [Водные..., 1995], а также их опасных проявлений – размывов берегов, на реках России и бывшего СССР [Эберхардс, 1986; Камалова, 1988; Дварецкас, 1989; Беркович и др., 1996; Махинов, 2001; Ободовский, 2001; Бабич и др., 2016].

Исследования, посвященные непосредственно рекам Обь-Иртышского бассейна, отличаются неполнотой и разрозненностью, тяготеют в основном к юго-восточной части бассейна, частично среднему и верхнему течению Оби и ее притоков. Первые сведения об Оби и ее притоках, появлялись в конце XVI века из донесений сибирских воевод и служивых людей, путевых дневников русских путешественников и землепроходцев (Николай Спафарий, Избрант Идес) [Льготина, 1990, 1993]. Даже в художественной литературе приводятся данные о том, что поселившиеся в Сибири русские крестьяне, чьи постройки на берегах Тобола и Иртыша смывало при прохождении волны половодья, находили в обнажившихся толщах грунта бивни мамонта. Они верили, что это осталось от подземных зверей, которые «грызут» берега [Иванов, Зайцева, 2017].

Научным академическим исследованиям рек Сибири, являвшихся частью Великого водного пути из г. Тобольска в Китай (Обь, Кеть, Томь, Чулым), положил начало Д.Г. Мессершмидт и его помощник Ф.И. Стральсберг, приглашенные в первую половину XVIII Петром I. Позднее изучение рек Среднего Приобья попутно продолжились I и II Камчатскими экспедициями. Во время царствования Екатерины II была отправлена экспедиция для обследования «восточных областей империи» под руководством П.С. Палласа. Участник этой экспедиции И.П. Фальк в своих путевых дневниках подробно описал Обь, Томь и Чулым и размывы берегов на них [Льготина, 1993; Крутовский, Льготин, 2001a]. И.Г. Гмелин, исследовав разрушение берега Иртыша у г. Тобольска, предложил берегозащитные меры (устье Тобола было перенесено на 6 км вверх по Иртышу) [Земцов, 1976].

В XIX веке внимание к восточной части бассейна Оби возросло в связи с проектированием и строительством Обь-Енисейского канала. Рассматривалось три пути соединения Оби с Енисеем: реки Вах и Елогуй, Тым и Сым, Кеть – Сочур и Кемь, для которых проводились дополнительные изыскания, в том числе – описание подмываемых берегов [Крутовский, Льготин, 2001; Литвинов, 2013]. В это же время в ходе экспедиций в Северную и Восточную Сибирь А.Ф. Миддендорфом был собран богатый материал о размывах берегов на Оби [Льготина, 1993; Крутовский, Льготин, 2001a].

В конце XIX-начале XX века появляются подробные описания и карты как всей Западной Сибири, так и, в частности, средней Оби и ее притоков [Городков, 1924; Крутовский, Льготин, 2001a], выполненные при поддержке Западно-Сибирского отделения Русского географического общества [Льготина, 1993]. Отдельно были сделаны описания рек бассейна Иртыша – Тобола и Туры [Янышев, 1885].

Большой вклад в изучение географии Западной Сибири и русловых процессов на Оби и ее притоках внесли ученые Томского университета. Экспедиции и комплексные исследования томских географов позволили подробно описать природные условия области и соседних регионов [Природа..., 1963; Земцов, Хромых, 1999]. В разные годы, начиная с 1950-х гг., проблемы переформирования русел рек средней Оби, Томи, Кети, Чулыма на отдельных участках в той или иной мере освещали А.А. Земцов, Д.А. Бураков, В.С. Хромых, Ю.И. Каменсков, В.А. Льготин, Н.С. Евсеева и др. Регулярный стационарный мониторинг береговых деформаций на реках Томской области с 1970-х гг. осуществляли сотрудники Томской геологоразведочной экспедиции, работу которой в 1990-е гг. продолжил ОАО «Территориальный Центр Томскгеомониторинг» [Крутовский, 2002]. Работы томских исследователей были посвящены условиям формирования русла и факторам русловых процессов [Земцов, 1953; Земцов, 1976; Земцов, 1978; Земцов, Евсеев, 1983; Евсеев, Земцов, 1999; Крутовский, Льготин, 2001b], натурным наблюдениям за динамикой береговой линии, масштабам размывов берегов и связанных с ними разрушений населённых пунктов, а также прогнозу русловых деформаций на 20-50 лет вперед на Оби [Земцов, Бураков, 1966, 1977; Буренина, Земцов, 1978; Льготин, 1984; Земцов, 1990; Крутовский, Льготин, Земцов, 2001; Киселев, Вершинин, 2010] и ее притоках (Томь, Чулым, Кеть, Тым, Парабель и Васюган) [Евсеев, Земцов, 1978; Льготин, 1987, 1989; Евсеева, 1999; Крутовский, 2001] в пределах Томской области. В настоящее время томские ученые продолжают изучение русловых процессов при помощи методов компьютерного моделирования [Земцов и др., 2015], анализа данных дистанционного зондирования [Вершинин и др., 2018] и гидрометеорологической информации [Савичев, 2008].

В 1960-е гг. в связи с активным освоением водных путей Западной Сибири и созданием Новосибирского водохранилища, Обь, в первую очередь верхняя до устья р. Томи и отчасти средняя в пределах Томской области, становятся объектом исследования ученых Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, с 1969 г. вновь созданной в МГУ научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов и Государственного гидрологического института [Попов, 1962; Маккавеев, и др., 1969; Беркович и др., 1981]. На основе исследований русловых переформирований на верхней и средней (в пределах Томской области) Оби и проблем, связанных с влиянием

Новосибирского водохранилищ, была опубликована монография [Русловые..., 2001], в которой представлены полученные результаты с акцентом на проблемы судоходства. Начиная с 90-х гг XX в. и по настоящее время, сотрудники МГУ продолжают натурные исследования условий формирования русел не только верхней, но на всей средней и нижней Оби, нижнем Иртыше и на их притоках с целью изучения пространственно-временной трансформации их русел, рассредоточения стока воды и наносов по рукавам и протокам, получения гидролого-морфологических зависимостей, разработки прогнозных оценок русловых деформаций и обоснования рекомендаций по управлению русловыми процессами и др. [Завадский, 2001; Ермакова, 2004; Чалов, Сурков и др., 2012; Чалов, Рулева и др., 2016; Камышев и др., 2017; Чалов, Завадский, 2018; Сурков, Крыленко и др., 2018; Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 2021; Чалов, Камышев, Куракова, Завадский, 2021; Чалов, Завадский, Камышев, Куракова и др., 2021; Чалов, Куракова и др., 2022; Куракова, Чалов, 2022]. Доступ к разновременным космическим снимкам и широкие возможности применения ГИС-технологий позволили осуществить ряд работ, посвященных размывам берегов на Оби и реках ее бассейна [Чалов, Сурков и др., 2012; Завадский, Ильясов и др., 2013; Беркович, Вершинин и др., 2015; Сурков, Крыленко и др., 2018; Завадский, Куракова, Головлев, 2020] и их гидролого-морфодинамическому анализу, который для данного региона ранее не проводился [Куракова, Чалов, 2019, 2020; Куракова, 2022]. А.Ю. Сидорчуком и др. [2008] было проведено региональное палеорусловое и палеогидрологическое исследование, направленное на анализ распространения палеорусел в долинах рек Западной Сибири, условий их формирования и трансформации в совершенно отличных от современных гидроклиматических условиях в эпоху голоцена.

Реки Обь-Иртышского бассейна были объектом научных изысканий и других исследователей. О.И. Баженова [1975], используя картографический материал, проанализировала развитие излучин и переформирований русла средней Оби между устьями Ваха и Иртыша. Без внимания не остались и размывы берегов на средней [Трепетцов, 1973] и нижней Оби и на Иртыше [Герасимова, 1959]. Последние были в основном посвящены отступанию коренных берегов под влиянием потока и развитию на них оползневых процессов. Е.В. Трепетцов дал подробную количественную характеристику размывов берегов, но не связал их с морфологией русла и стадиями развития его форм. И.Б. Петров [1979], давая характеристику пойм средней и нижней Оби и нижнего Иртыша и геолого-геоморфологических условий формирования их русел, отметил размывы берегов как фактор их динамики, привел сведения о скорости отступления берегов рек на отдельных участках. В.Т. Трофимов [1971] изучал оползни на коренных

берегах в нижнем течении Оби и Иртыша, развитие которых провоцируется воздействием речного потока на них.

В 1980-1990-е гг Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией под руководством Н.В. Белова были заложены стационары на Оби, Иртыше, Тоболе [Белов и др., 1982-1995] и Туре совместно со специалистами Тюменского индустриального института [Безуглая-Анненкова, 2000] для мониторинга активности размывов берегов и склоновых процессов. Характеристика темпов этих процессов также дается без их увязки с морфологией русла и динамикой потока.

В настоящее время постоянный мониторинг горизонтальных деформаций на Оби и Вахе вблизи г. Нижневартовска и анализ связи размывов с морфологией русла проводят сотрудники Нижневартовского университета [Жоркин, Исыпов, 2017, 2018, 2020]. А.А. Медведев и его коллеги [2009] осуществили ряд натурных исследований на р. Оби в районе г. Сургута, где проходят многониточные подводные переходы магистральных трубопроводов, для разработки регуляционных и берегозащитных мероприятий. С.В. Боровков [2010] с применением метода компьютерного моделирования обосновал необходимость спрямления излучины Иртыша в районе г. Ханты-Мансийска в связи с угрозой утраты части федеральной трассы и городской территории в результате размыва вогнутого берега.

Для решения проблем судоходства В.В. Дегтярев [1987] обосновал возможности искусственного спрямления излучин на особо затруднительных участках нижнего Иртыша. Позднее М.Ю. Мухин [2004] ввел понятие «русловые аномалии – геологические и гидрогеологические отклонения, природного (естественного) или искусственного происхождения, изменяющего или оказывающего влияние на нормальный ход (без воздействия аномалий) русловых процессов и проявляющегося в плановых изменениях русла». К ним он отнес, например, выступы скальных пород в русле или наличие в нем вечной мерзлоты. На примере рек Обь-Иртышского бассейна он показал влияние различных аномалий на развитие горизонтальных деформаций и условия судоходства, предложил методику расчета и прогноза плановых смещений русла с учетом аномалий. Т.В. Пилипенко [2004] разработала ряд рекомендаций по спрямлению излучин на реках Иртышского бассейна. В ряде исследований описывается развитие русловых процессов и размывы берегов на отдельных участках средних рек Обь-Иртышского бассейна – Тромъегане [Комлев, Блукке, 1965], Лямине [Диденко, Диденко, 2017], Ишиме [Вешкурцева, 2013], Конде [Середовских, Неволин, 2019], Тоболе [Илларионов, 2012] и Туре [Носаль, 2008].

Несмотря на кажущуюся многочисленность, перечисленные выше исследования не дают полного представления об опасности и закономерностях распространения и развития размывов берегов на реках Обь-Иртышского бассейна, в т.ч. как и проявлении русловых процессов; практически не рассмотрена связь размывов берегов с различными природными факторами, в т.ч. с условиями формирования русел, параметрами форм русел, их устойчивостью и др. Кроме того, эти работы в основном касались лишь отдельных участков рек, не давая общей картины руслового режима, размыва берегов и опасности русловых процессов.

Глава 2. Условия формирования русел рек бассейна

2.1. Физико-географическая характеристика геолого-геоморфологическое строение

Обь-Иртышский бассейн в основном располагается в пределах Западно-Сибирской равнины. Юго-восточная часть бассейна тяготеет к Алтайской и Кузнецко-Салаирской горным областям, западная и северо-западная – к предгорьям Урала (рисунок 2.1.1). Площадь бассейна 2990000 млн. км².

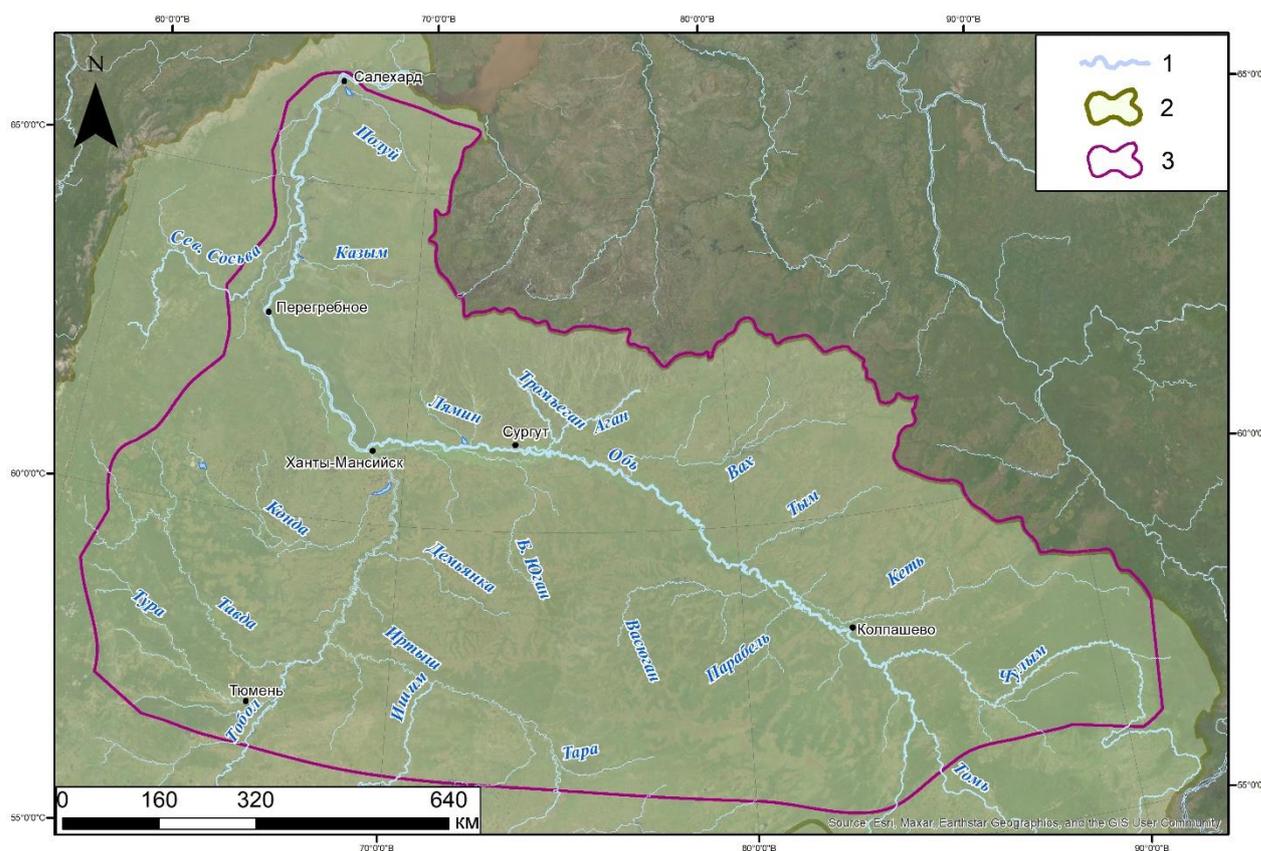


Рисунок 2.1.1 – Обзорная карта исследуемой территории Обь-Иртышского бассейна. 1 – реки, 2 – граница Обь-Иртышского бассейна, 3 – граница лесной зоны в пределах равнинной части Обь-Иртышского бассейна

Территория характеризуется континентальным климатом с активной циклонической деятельностью, где соотношение тепла и влаги, а, следовательно, природные зоны, благодаря ее преимущественной равнинности, сменяют друг друга с севера на юг, а ограничивающие их изолинии имеют строго широтное положение. Для бассейна присуще умеренно-суровая зима с продолжительностью 5-6 месяцев и сравнительно теплым, особенно на юге, летом. Расположение в глубине континента и открытость территории с севера, юга и юго-запада обуславливают, с одной стороны, ее континентальность, с другой – периодическое вторжение арктического и тропического воздуха. В теплое время года

активизируется западный перенос воздушных масс, зимой – влияние Сибирского антициклона. Среднегодовая температура воздуха составляет $-2,7^{\circ}$, возрастая к юго-западу до 0° . Температура в июле (самый теплый месяц) – от $+17^{\circ}$ до $+21^{\circ}$, в январе (самый холодный месяц) – от -16° до -23° ; переход через 0° наблюдается в апреле и октябре. На всей территории количество осадков в основном составляет от 200 до 800 мм с максимумом в июле на юге и августе на севере, испаряется от 50 до 350 мм. Располагаясь в нескольких сменяющих друг друга физико-географических зонах, от степей на юге до тундры на севере, бассейн на большей части территории находится в лесной (таежной) зоне. Осадки в пределах лесной зоны изменяются от 400 до 600 мм с некоторым их увеличением на северо-запад (в направлении Уральских гор) и вглубь территории Обь-Иртышского междуречья, выпадающие преимущественно в теплую часть года, на которую также приходится и основное испарение (200-400 мм в год) [Западная..., 1963; Михайлов, 1976].

Почвенно-растительный покров Обь-Иртышского бассейна разнообразен. Но ввиду преобладания таежной зоны на хорошо дренированных пространствах наиболее распространены сильноподзолистые почвы, занятые темно-хвойными лесами; на низких террасах и в пойме – ивняки, березовые и сосновые леса, а также луга на аллювиальных почвах. Широко распространены верховые сфагновые и низинные травяно-осоковые болота [Западная..., 1963; Михайлов, 1976].

В геолого-геоморфологическом отношении территория Обь-Иртышского бассейна и ее большая лесная часть расположены в пределах Западно-Сибирской равнины – молодой плиты, фундамент которой покрыт толщей чередующихся отложений континентального и морского происхождения. Мощность осадочного чехла изменяется от 3 км на юге до 11 км на севере. Равнина ограничена Уральскими горами на западе, Средне-Сибирским плоскогорьем на востоке, возвышенностями – Тургайской столовой страной и Казахстанским мелкосопочником и предгорьями Алтайской и Саянской горных систем с юга. Равнина представляет собой две пониженные котловины с абсолютными отметками преимущественно до 200 м и приподнятыми краями (250-300 м) – северная (Нижнеобская) и южная (Среднеобская), разделенные широтным повышением рельефа, простирающимся от предгорий Урала в области Тоболо-Сосьвинского водораздела (возвышенность Люлимвор) через Сибирские Увалы к Енисейскому кряжу и соединенные между собой широким понижением (до 20 м) – долиной нижней Оби. Территория занята многочисленными возвышенностями (Северо-Сосьвинская, Люлимвор, Полуйская, Васюганская, Вех-Кетская и др.) и увалами (Аганский, Салехардские, Белогорский и Тобольский «материки» – отроги Сибирских увалов), высоты которых достигают 300 м, и

множеством низменностей (Среднеобская, Кондинская, Ханты-Мансийска, Вахская и др.) [Западная..., 1963; Михайлов, 1976].

С.С. Воскресенский (1968) разделял Западно-Сибирскую равнину на области по особенностям рельефа, обусловленным разным ходом эрозионно-аккумулятивных процессов в основном в четвертичный период. Северная область – морские аккумулятивные равнины, занимающие большую часть Ямальского, Тазовского и Гыданского полуостровов, где различают формы, созданные морем, флювиальными и эоловыми процессами и связанные с вечной мерзлотой. Центральная область, охватывающая Обский бассейн, представлена ледниковыми и водноледниковыми равнинами, южная граница которых очерчивается по распространению валунного материала (примерно 60° с.ш.). На большей части этой территории за исключением краевых частей равнины у Уральских гор и Средне-Сибирского плоскогорья типичный ледниковый рельеф слабо выражен, будучи сильно переработанный эрозионно-аккумулятивной деятельностью рек. Третья, южная, область представляет собой территорию аллювиальной и озерной аккумуляции. В ее пределах находится центральная часть Обь-Иртышского бассейна, аккумулятивная деятельность рек и озер которого в течение длительного времени сформировала монотонный, относительно равнинный рельеф. Наиболее пониженные гипсометрически отметки приурочены к замкнутым бессточным областям. Эту область разделяют неогеновые аккумулятивные равнины – озерная Прииртышская впадина и Васюганское плато. На юго-востоке и востоке располагаются денудационные плато с хорошо разработанным эрозионным рельефом – Приобское (у подножия Алтая, Салаира, Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна) и Причулымское, разделяющее Обь, Чулым и Енисей [Воскресенский, 1968].

Современные формы рельефа сложены исключительно четвертичными отложениями, которые имеют большую мощность в котловинах и впадинах. Четвертичные отложения представлены песками, песчано-суглинистыми, суглинистыми и лессовыми породами аллювиального, ледникового, озерно-ледникового и флювиогляциального генезиса, где к последним приурочен галечный и валунный материал; также повсеместно распространены осадки озерного и озерно-болотного происхождения [Воскресенский, 1968; Земцов, 1976]. Сложение поверхности этими отложениями произошло в результате их аккумуляции в приледниковых зонах, размеры и местоположение которых неоднократно менялись по мере развития оледенения, и впоследствии многократного переотложения [Воскресенский, 1968]. В связи с тем, что пойма и низкие террасы рек Обь-Иртышского бассейна сложены в основном легко размываемыми песчано-легкосуглинистыми аллювиальными отложениями, в лесной зоне бассейна абсолютно преобладают свободные

условия развития русловых деформаций и сплошное распространение широкопойменных русел, которые свободно меандрируют или разветвляются на рукава. Пойма рек бассейна чаще всего двусторонняя, реже, когда русло располагается вдоль коренного берега, односторонняя. Коренные берега обычно сложены трудноразмываемыми суглинистыми отложениями, на склонах которых широко распространены оползневые процессы.

Обь в пределах исследуемой лесной зоны (от устья Томи до г. Салехарда) имеет широкую долину с широкой поймой и тремя надпойменными террасами [Русловой..., 1994]. Ширина двусторонней поймы на участке от устья Томи до устья Ваха колеблется от 20-25 до 30 км при ширине русла 1-2 км. На широтном участке пойма расширяется, составляя от 20 до 40 км, русло – до 2, реже 3 км. Ниже слияния с Иртышом при пересечении Сибирских увалов долина сужается, ширина поймы до 10-20 км. Нижняя Обь, прижимаясь к правому борту долины, представленном уступами Сибирских Увалов – Белогорским материком и Полульской возвышенности, имеет левобережную пойму, которая периодически сужается до 20-25 км и расширяется до 40-50 км, максимальная ширина наблюдается в районе устья Северной Сосьвы – 60 км. Ниже впадения Северной Сосьвы один из рукавов раздвоенного русла – Малая Обь – прижимается к левому борту долины – Мужинскому Уралу, являющемуся частью Северо-Сосьвинской возвышенности. Ширина русла Оби от 1-2 до 3-5 км (вместе с островами). В створе г. Салехарда пойма, ограниченная справа Салехардскими Увалами, сужается до 6 км [Западная..., 1963; Русловые..., 2001].

Долина Иртыша ниже устья Тары широкая с максимальной шириной в низовьях до 30 км (пойма – до 20 км, русло – до 2 км). Пойма Иртыша двусторонняя за исключением участка ниже устья Тобола, где русло Иртыша делает резкий поворот, огибая северо-западную часть Правобережной Иртышской возвышенности – Тобольский материк. Притоки Оби и Иртыша имеют широкие долины с преимущественно двусторонней поймой и от двух-трех до пяти надпойменными террасами. Обычно ширина поймы притоков может достигать в нижнем течении от 4-5 до 10-15 км, реже 20 км и более, русло реки имеет ширину от нескольких десятков до сотен метров, редко превышая 1 км [Западная..., 1963; Земцов, 1976; Русловой..., 1994].

2.2. Гидрографическая характеристика и гидрологический режим

Обь, берущая начало от слияния Бии и Катунь, течет сначала на запад, но затем, совершая несколько коленаобразных изгибов, направляется в целом на север, пересекая степную и лесостепную зоны, принимая ряд притоков – Песчаную, Ануй, Чарыш, Алей, Чумыш, стекающих с Алтая и Салаирского кряжа. В верхнем течении создан

Новосибирский гидроузел с водохранилищем, ниже которого и вплоть до устья р. Томи сколько-нибудь крупных притоков нет. Поворачивая при слиянии с р. Томью на северо-запад, река входит в более увлажненную лесную зону с большой степенью заболоченности, где в нее впадают справа крупные правые притоки Чулым, Кеть, Тым, Вах, дренирующие Обь-Енисейский водораздел, и левые притоки Чая, Парабель и Васюган. Ниже устья Ваха Обь меняет направление течения на субширотное, где впервые появляется раздвоенное русло [Чалов, С. Чалов, 2020], во второй рукав которого может уходить до 40% от общего стока воды в половодье. На этом участке в Обь приносят свои воды Тромъеган, Пим, Лямин и Назым, стекающие с Сибирских Увалов (северные притоки), и Большой Юган и Большой Салым, истоки которых расположены среди болот в центре равнины (южные притоки). Сливаясь с р. Иртышом, Обь поворачивает сначала на северо-северо-запад и течет единым руслом вдоль правого коренного берега – отрогов Сибирских Увалов, а затем на север, разделяясь на два практических равноценных по водности рукава, формируя раздвоенное русло практически до самого г. Салехарда [Чалов, Камышев, Куракова и др., 2021]. На этом участке крупнейшими притоками являются Северная Сосьва (слева), несущая воды с Уральских гор, Казым и Полуй (справа).

Иртыш – крупнейший левый приток Оби – начинается на склонах Монгольского Алтая в Китае. До устья р. Оми Иртыш, протекая в степной и лесостепной зонах в северо-северо-западном направлении, практически не имеет притоков. Ниже Иртыш между устьями Оми и Тары течет на северо-восток, а при переходе в лесную зону меняет направление на субширотное; отсюда начинается постепенное нарастание водоносности Иртыша благодаря впадению слева рек Тары, Ишима и Тобола, и справа Туры и других маловодных рек, собирающих воды Зауралья. Ниже устья р. Тобола река делает поворот на север, обтекая Тобольский материк, и течет в субмеридиональном направлении вплоть до слияния с Обью, принимая воды рек Демьянки (справа), Конды (слева) и других малых рек.

Формирование речного стока отражает хорошо выраженную природную зональность на территории Западно-Сибирской равнины. Величина стока рек закономерно увеличивается с юга на север: слой стока растёт от 10-30 мм в год в засушливой степной зоне до 120-300 мм в год в тайге и более 300 мм в год в тундре. Наиболее сильно развита речная сеть в лесной зоне (0,3-0,4 км на 1 км²). Питание рек таежной зоны Обь-Иртышского бассейна преимущественно снеговое (до 50%); в летний период большую роль играют дожди и относительно высокая доля подземного питания. Важным фактором в формировании речного стока лесной зоны являются болота. За счет грунтово-болотного питания может формироваться до 40-45% от общего стока некоторых таежных рек.

По водному режиму Обь, Иртыш и их притоки в пределах лесной зоны относятся к западносибирскому типу (по Б.Д. Зайкову) с растянутым весенним половодьем, повышенным летне-осенним стоком и зимней меженью. По М.И. Львовичу [1938], тип водного режима на рассматриваемой территории бассейна сменяется с *SxPy* (преимущественно снеговое питание весной) в южной части на *sxeu* (смешанное питание с преобладанием снегового питания в летний период) в центре и на *ихеу*, *ихЕу* (смешанное питание с преобладанием грунтового стока летом) на север. Согласно карте «Водный режим России и сопредельных территорий» [2001], на рассматриваемой территории реки имеют преимущественно снеговое, дождевое и подземное питание, с весенним половодьем и устойчивой меженью, которая для большинства средних и больших рек, а также нижней Оби – прерывистая, тогда как средняя Обь, ее правые притоки (Томь, Чулым, Кеть и Тым) и Тура сопровождаются эпизодическими паводками. На реках с сильно заболоченным и залесенным водосбором может практически отсутствовать летняя межень вследствие естественного регулирования стока, характеризующегося переходом чрезвычайно растянутого половодья в летние паводки [Западная..., 1963, Михайлов, 1976; Схема..., 2014а,б].

Обь и Иртыш являются крупнейшими реками Западной Сибири. Среднемноголетний расход воды Оби увеличивается вниз по течению: от 2770 м³/с ниже устья р. Томи и 4030 м³/с в г. Колпашево (после впадения р. Чулыма) до 7350 м³/с перед устьем Иртыша, ниже слияния, с которым возрастает до 10200 м³/с (г.п. Белогорье) и до 12800 м³/с у г. Салехарда (таблица 2.3.1). Максимальные расходы воды Оби в половодье увеличиваются с 29800 м³/с у г. Колпашево до 42800 м³/с в створе г. Салехарда. Минимальные расходы изменяются от 2810 до 6230 м³/с. Соответственно меняется (увеличивается) порядок реки *N* (по системе А. Шайдеггера).

Таблица 2.3.1 – Характеристика рек Обь-Иртышского бассейна

| Река | | Ф, тыс. км ² | Q _{ср} , м ³ /с | Q _{макс} , м ³ /с | Q _{мин л-о} , м ³ /с | N (в устье) |
|-----------|-----------|----------------------------|-------------------------------------|--|---|----------------|
| Обь | Колпашево | 2 990 | 4030 | 29800 | 2810 | 18,02 |
| | Белогорье | | 10200 | 51800 | 7730 | |
| | Салехард | | 12800 | 42800 | 6230 | |
| Томь | | 62 | 1100 | 13600 | 210 | 15,65 |
| Чулым | | 134 | 790 | 8220 | 260 | 14,81 |
| Кеть | | 94,2 | 560 | 1960 | 210 | 12,78 |
| Тым | | 32,3 | 250 | 2000 | 140 | 11,05 |
| Вах | | 76,7 | 670 | 3500 | 390 | 11,99 |
| Тромъеган | | 55,6 | 430 | 1100 | 90 | 11,42 |
| Аган | | 32,2 | 280 | 1000 | 180 | 10,70 |
| Лямин | | 15,9 | 100 | 400 | 60 | 9,57 |
| Казым | | 35,6 | 370 | 700 | н/д | 11,69 |

| | | | | | | |
|-----------------|----------------|-------|------|------|-------|-------|
| Полуй | 21 | 130 | 1270 | н/д | 10,66 | |
| Парабель | 25,5 | 120 | 380 | 60 | 11,12 | |
| Васюган | 61,8 | 350 | 1300 | 100 | 13,02 | |
| Большой Юган | 34,7 | 150 | 1200 | 20 | 11,67 | |
| Северная Сосьва | 98,3 | 860 | 6200 | 190 | 12,89 | |
| Иртыш | Тобольск | 1 643 | 2150 | 6500 | 600 | 15,46 |
| | Ханты-Мансийск | | 2800 | 8000 | 1070 | |
| Демьянка | 34,8 | 170 | 1290 | 50 | 11,60 | |
| Тобол | 426 | 810 | 6350 | 160 | 14,32 | |
| Тура | 80,4 | 180 | 3330 | 40 | 12,85 | |
| Тавда | 88,1 | 460 | 3250 | 60 | 13,08 | |
| Конда | 72,8 | 310 | 2000 | 90 | 11,17 | |

Средняя Обь после слияния с Томью переходит в ранг крупнейших рек и характеризуется увеличением водоносности Оби вниз по течению за счет впадения крупных притоков (Чулым, Кеть, Парабель, Васюган, Тым) и большого количества малых рек, а также ростом порядка реки N (по системе А. Шайдеггера) с 16,8 (в устье Томи) до 17,4 (в устье Ваха). От устья р. Томи до устья р. Кети руслоформирующие расходы Q_{ϕ} проходят в пойменных бровках поймы, а ниже по течению Q_{ϕ} соответствует т.е. затоплению поймы в половодье (верхний интервал). На широтном участке средней Оби при общем росте суммарного стока воды ее порядок N изменяется несильно – с 17,4 до 17,8 (в устье Иртыша), к устью возрастает до 18,02.

Среднемноголетний расход воды Иртыша изменяется от 890 м³/с в с. Екатерининском (ниже устья р. Тары) до 1240 м³/с в с. Усть-Ишимском и 2150 м³/с в г. Тобольске, к устью, после впадения рек Демьянки и Конды, увеличивается до 2800 м³/с (см. таблица 2.3.1). В период половодья максимальные расходы составляют 6500 м³/с в г. Тобольске и 8000 м³/с в устье. Минимальные расходы изменяются от 600 до 1070 м³/с. Увеличение стока воды Иртыша вниз по течению обусловлено преимущественно впадением крупных притоков слева (Ишим, Тобол, Конда) и меньших по водоносности правых притоков – Тара, Туртас и Демьянка, а также множеством малых рек.

На остальных реках Обь-Иртышского бассейна среднемноголетние расходы воды увеличиваются вниз по течению за счет впадения притоков, составляя в устье для разных рек от 100 до 1100 м³/с, максимальные – 380-13600 м³/с; минимальные – от 20 до 390 м³/с. (см. таблицу 2.3.1).

Внутригодовое распределение стока крупных рек бассейна формируется под влиянием впадающих в них притоков, и большая часть стока проходит в летнее время (до 50%), весной – до 30%, существенно меньше приходится на осень и зиму. Большие разливы рек во время весеннего половодья не только затапливают пойму и меняют гидравлические характеристики потока, но и могут причинять ущерб экономике и ухудшать качество жизни

населения. С этим явлением тесно связано образование заторов, особенно на реках, текущих с юга на север, когда скорость добегания паводочной волны опережает ее вскрытие [Западная..., 1963; Михайлов, 1976].

Обь характеризуется значительными сезонными колебаниями уровней. Подъем начинается еще при ледоставе (в начале апреля – верхнее течение, конец апреля – начало мая – в нижнем), сопровождаясь кратковременными подъемами при заторах. В верхнем течении волна половодья заканчивается в июне, сменяясь неустойчивой летней меженью; в конце лета-начале сентября – вторая волна. На весеннее половодье в среднем и нижнем течении Оби накладываются летние дождевые паводки, что приводит к тому, что спад половодья растягивается вплоть до ледостава. В весенне-летний период, к которому приурочены максимальные уровни воды, происходит разлив реки и затопление огромных пойменных пространств. Минимальные уровни наблюдаются обычно в феврале – марте. Годовая амплитуда колебания уровней воды увеличивается вниз по течению: максимальная амплитуда изменяется с 5 м в верхнем течении до 10 м в среднем и 12 м – в нижнем [Петров, 1979].

На Иртыше уречный режим до устья р. Оми [Дегтярев, 1987] испытывает влияние от каскада ГЭС на территории Казахстана. Начало половодья в середине апреля сопровождается ростом уровней, достигающих максимальных значений в начале лета, и оканчивается медленным спадом до конца августа-начала сентября, на который нередко наслаиваются дождевые паводки. Минимальные уровни наблюдаются в феврале-марте [Петров, 1979].

На Оби проходит две волны половодья, первая из которых связана с таянием снега на равнине, вторая – снега и льдов в горах, но уже в среднем течении они сливаются в одну длительную многоводную фазу, дополнительно обусловленные слабой расчлененностью водосбора, огромной аккумулярующей емкостью очень широкой (до 60 км) поймы, сравнительно малой густотой речной сети, большой степенью залесенности, широкого распространения озер и болот. Тогда как интенсивность весеннего половодья на нижнем Иртыше зависит, прежде всего, от запасов воды в снеге и особенностей весны [Петров, 1979].

Осенний ледоход наблюдается в основном на крупнейших, больших и некоторых средних реках Обь-Иртышского бассейна. Для транзитных рек (Обь, Иртыш, Тобол) он обычно проходит с конца октября, и до середины ноября устанавливается ледяной покров. Начало весеннего ледохода наступает в конце апреля – начале мая, и реки освобождаются ото льда до середины мая. На Оби и Иртыше в период весеннего ледохода происходит образование заторов, обуславливающие кратковременные подъемы уровней воды,

способные привести к затоплению приречных территорий. На средних реках лесной зоны бассейна осенний ледоход проходит во второй половине октября, ледостав устанавливается к началу ноября. Весной реки вскрываются и полностью очищаются ото льда преимущественно в первую декаду мая [Западная..., 1963; Михайлов, 1976; Петров, 1979].

Мутность рек бассейна сильно варьирует. На Оби мутность уменьшается с юга на север от 250 г/м³ перед устьем Томи до 41 г/м³ в г. Салехарде. Создание Новосибирского водохранилища оказало влияние на годовой сток взвешенных наносов: сток наносов из-за размывов в нижнем бьефе растет с 4 до 16 млн т до г. Колпашево, ниже – вплоть до г. Салехарда он практически не изменяется и составляет около 16 млн т [Беркович, 2012]. На Иртыше мутность возрастает вниз по течению: с 104 г/м³ в верховьях до 138 г/м³ у г. Омска и 163 г/м³ вблизи устья Тобола. Годовой сток взвешенных наносов также растет в этом направлении с 4,4 млн т у Омска до 10,8 млн т у Тобольска и 17,0 млн т – в устье. На притоках Оби и Иртыша мутность также снижается от 100 г/м³ на юге тайги до 20 и менее г/м³ на реках северной части лесной зоны [Западная..., 1963; Михайлов, 1976; Петров, 1979; Беркович, 2012].

По гидрологическому режиму Обь в пределах лесной зоны делится на среднюю (от устья Томи до впадения Иртыша) и нижнюю (ниже устья Иртыша до г. Салехарда). Они различаются по срокам наступления и длительности фаз водного режима, продолжительности и глубине затопления поймы, срокам ледовых явлений (продолжительность ледостава в нижнем течении около 220 суток против 150 суток в среднем течении реки) [Беркович, 2012].

Нижний Иртыш в пределах таежной зоны можно разделить на два участка: I – от устья р. Тары до устья Тобола, II – от устья р. Тобола до слияния с р. Обью. В первом случае сток формируется за счет впадения рек Тары, Ишима, Вагая и Тобола. Последний вносит существенный вклад в увеличение водоносности Иртыша, разделяя его на участки (подобно влиянию на Обь слияний с Томью и Иртышом). Ниже по течению Иртыш принимает воды только Конды, существенно меньшую роль в общем стоке играет р. Демьянка [Схема..., 2014a].

Из-за разницы в сроках прохождения волн половодья и их объемов Обь и Иртыш в низовьях поочередно оказываются в подпоре, дальность распространения которого на Оби – 200-400 км, на Иртыше – 200 км, реже 300 км. При этом сначала в подпоре оказывается Обь, а затем, когда на Иртыше уже идет спад уровней, а на Оби продолжается половодье – Иртыш [Вендров и др., 1967; Петров, 1979].

Изменяющиеся в настоящее время климатические условия отражаются на водном режиме. По данным разных исследователей [Кошелева, Зиновьев, 2017; Магрицкий,

Фролова и др., 2017; Гельфан и др., 2022; Фролова и др., 2022] изменчивость годового и сезонного стока Оби и ее притоков неоднозначна. Произошедшие климатические изменения в целом привели к увеличению водности в Обь-Иртышском бассейне ($Q_{\text{ср}}$ на 20-50%), [Гельфан и др., 2022; Фролова и др., 2022]. По другим сведениям, увеличение водности притоков в бассейне Оби и Иртыша наблюдается до $+4,0 \text{ км}^3/\text{год}$ [Кошелева, Зиновьев, 2017].

Ввиду малой плотности гидрологических постов на исследуемой территории для проведения гидролого-морфологического анализа вместо расходов воды использовался косвенный показатель – порядок реки N , характеризующий изменение размеров реки и расходов воды вниз по течению. Порядок реки рассчитывался по формуле А. Е. Шайдеггера в интерпретации Н.И. Алексеевского [2004]: $N = \log_2 P + 1$ (P – количество водотоков с длиной меньше 10 км). На основе связи между среднемноголетними расходами воды $Q_{\text{ср}}$, $\text{м}^3/\text{с}$ и порядками рек N Обь-Иртышского бассейна была получена зависимость, соответствующая экспоненциальному уравнению вида $Q_{\text{ср}} = ae^{bN}$. Весь бассейн описывается нижней огибающей – $Q_{\text{ср}} = 0,023e^{0,703N}$ (коэффициент корреляции – 0,9) (рисунок 2.3.1), но каждая река имеет свою зависимость увеличения стока $Q_{\text{ср}}$ при возрастании порядка реки N .

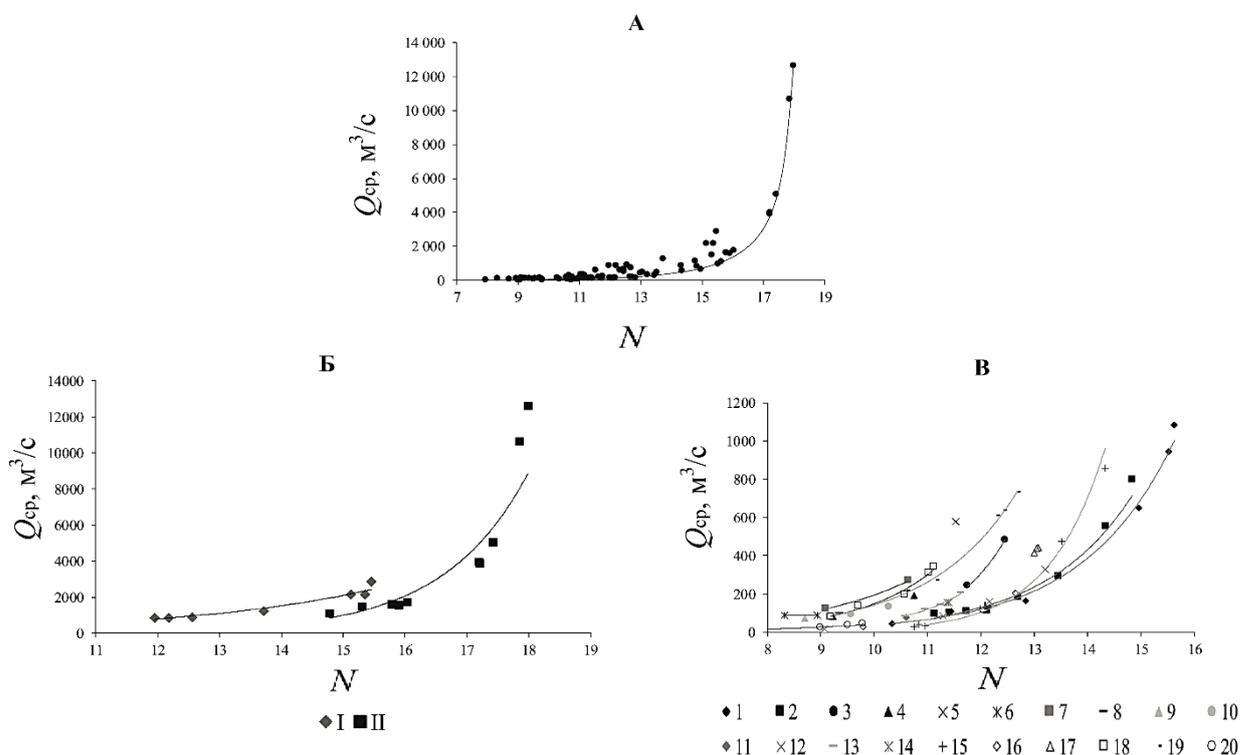


Рисунок 2.3.1 – Связь водоносности ($Q_{\text{ср}}$) и порядка (N) рек Обь-Иртышского бассейна. А – все реки бассейна, Б – Иртыш (I) и Обь (II), В – крупные и средние реки бассейна: 1 – Томь, 2 – Чулым, 3 – Кеть, 4 – Тым, 5 – Вах, 6 – Тромъеган, 7 – Аган, 8 – Лямин, 9 –

Казым, 10 – Полуи, 11 – Парабель, 12 – Васюган, 13 – Большой Юган, 14 – Демьянка, 15 –
Тобол, 16 – Тура, 17 – Тавда, 18 – Конда, 19 – Северная Сосьва, 20 – Тара

Близкая связь между водоносностью $Q_{ср}$ и порядком N отдельных рек внутри Обь-Иртышского бассейна позволила выполнить его районирование по условиям формирования стока воды (рисунок 2.3.2), проявляющееся, за исключением крупнейших рек – Оби (VIII) и Иртыша (IX), в выделении на схеме семи районов, охватывающих бассейны рек: I – Томи и Чулыма; II – Кети, Тыма и Ваха; III – Тромъегана, Агана и Лямина; IV – Казыма и Полуя; V – Парабеля, Васюгана, Большого Югана, Тары и Демьянки; VI – Тобола, Туры, Тавды; VII – Конды и Северной Сосьвы.

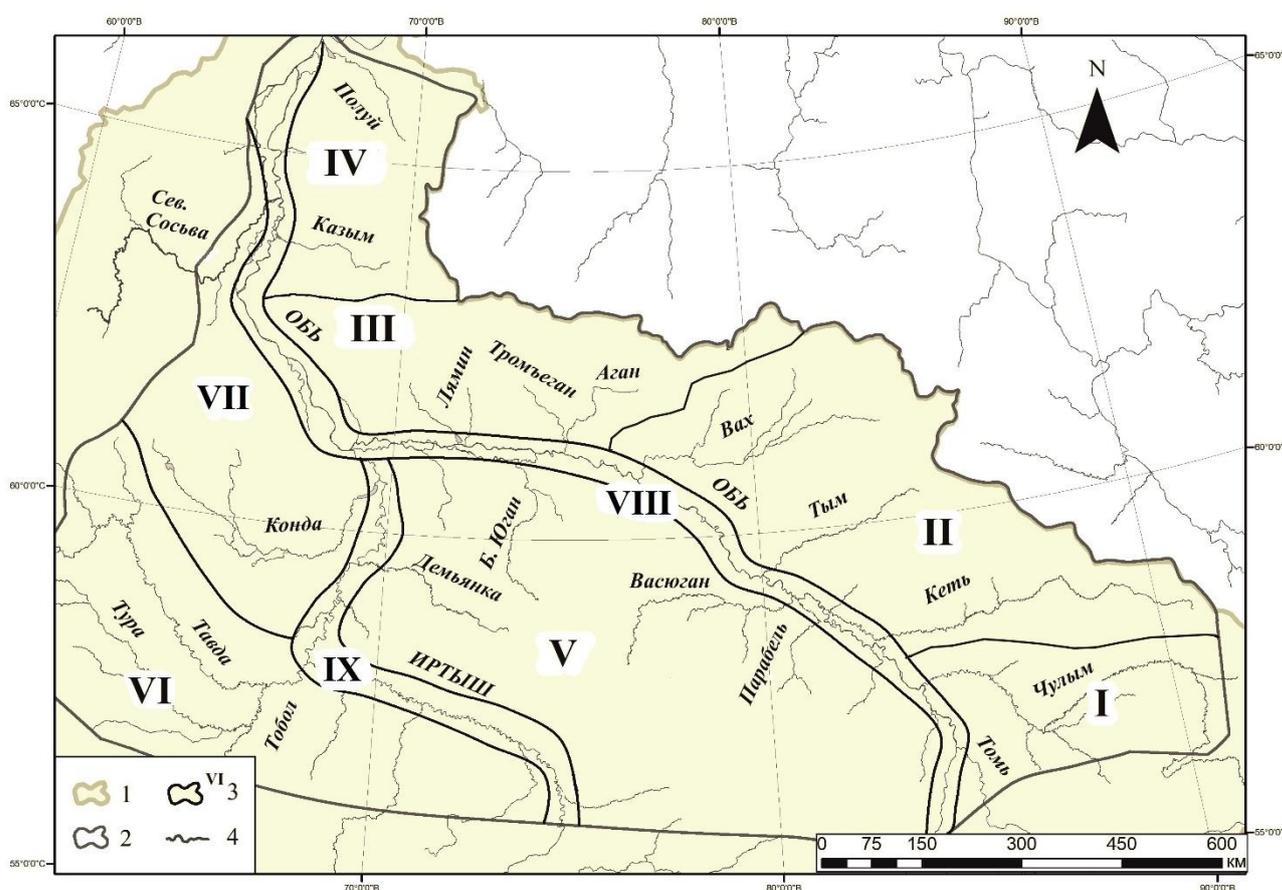


Рисунок 2.3.2 – Районирование территории Обь-Иртышского бассейна по зависимости характеристик стока рек от структуры речной сети. I-IX – районы, выделенные по связи $Q=f(N)$. 1 – граница Обь-Иртышского бассейна, 2 – равнинная часть лесной зона бассейна, 3 – границы и номера районов, 4 – средние, большие и крупнейшие реки бассейна

[Куракова, в печати]

Коэффициенты a и b в уравнении $Q=ae^{bN}$, описывающее каждый район (таблица 2.3.2), различаются. Коэффициент a закономерно возрастает по правобережью Оби с юго-

востока на северо-запад, захватывая левобережье нижнего Иртыша и нижней Оби, и уменьшается по югу региона с востока на запад. В обратной последовательности изменяется коэффициент b . Отмеченные изменения соответствуют разным условиям формирования стока в Обь-Иртышском бассейне, что связано с изменением количества осадков, степени заболоченности и заозеренности, появлением на крайнем севере в бассейне рек многолетнемерзлых пород [Куракова, в печати].

Таблица 2.3.2 – Коэффициенты a и b в уравнении $Q=ae^{bN}$ [Куракова, в печати]

| Район (рисунок 2.3.2) | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| a | 0,112 | 0,425 | 0,970 | 2,59 | 0,064 | 0,002 | 0,310 | 0,016 | 16,7 |
| b | 0,586 | 0,573 | 0,526 | 0,382 | 0,666 | 0,929 | 0,617 | 0,734 | 0,322 |

Эти районы хорошо согласовываются с гидрогеологическим районированием, проведенным В.А. Земцовым [1979] (рисунок 2.3.3) на основе анализа многочисленных литературных и фондовых данных по геологическому и геоморфологическому строению Западной Сибири, гидрогеологическим особенностям территории.

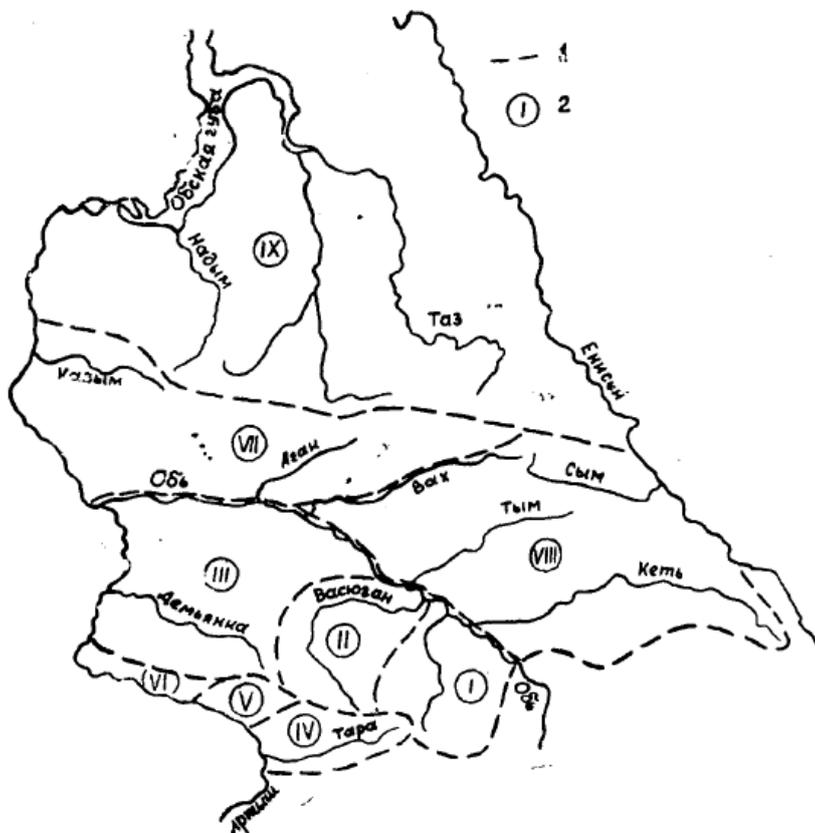


Рисунок 2.3.3 – Схема районирования Обь-Иртышского бассейна по гидрогеологическим особенностям верхней части разреза: 1 – границы района, 2 – номера районов [Земцов, 1979]

Каждый район имеет свои особенности физико-географических условий, определяющих формирование и внутригодовое распределение стока воды (количество осадков, заболоченность, заозеренность и залесенность) [Куракова, в печати].

I район представлен большими полноводными реками Томь и Чулым, сток которых формируется в горах юго-востока Западной Сибири (Саяны и Кузнецкий Алатау), но в нижнем течении водный режим соответствует равнинно-таежным рекам, протекающим по хорошо расчлененной территории: весеннее половодье (тогда же проходит большая часть стока), растянутое благодаря наложению на него летних дождей, осенняя межень, прерываемая дождями, низкая зимняя межень, определяющие многопиковую форму гидрографа. Доля весеннего стока составляет 44%, на лето приходится 36 %, на осень – около 17 %, на зиму – 3 %. Классификация рек по М.И. Львовичу [1938]: *SxPy* – преимущественно снеговое питание весной. Лесистость района – более 70 %, заболоченность – от 2 до 6 %, заозеренность – менее 1 %.

II район (Кеть, Тым, Вах) – реки с весенне-летним половодьем, большая часть стока проходит в летний период. Доля весеннего стока составляет 29-30%, на лето приходится 45-49 %, на осень – около 14-19 %, на зиму – 6-8 %. Классификация рек по М.И. Львовичу [1938]: *Sxeu* (преимущественно снеговое питание летом) сменяется *ixeu* (смешанное питание с преобладанием грунтового стока летом). Лесистость района колеблется в диапазоне от 62 до 88 %, доля болот возрастает с севера на юг (с 10 до 38 %), заозеренность – 1-3 %. Расчлененность территории на севере слабая, возрастает к югу района. Соответствует одному гидрогеологическому району, по В.А. Земцову [1979] (см. рисунок 2.3.3): питание в восточной части района – за счет вод меловых отложений, имеющих тесную связь с вышележащими водоносными горизонтами. Помимо них, в питании участвуют воды песчано-глинистых отложений палеогена. В восточной части района (низовья рассматриваемых рек) подземное питание рек происходит за счет вод в рыхлых песчано-глинистых четвертичных осадках.

Тромъеган, Аган и Лямин объединяются в III район. Подъем половодья проходит более интенсивно, чем спад. Продолжительность половодья – от 100 до 130 дней. Характерно весенне-летнее половодье, летняя и осенняя межень. Доля весеннего стока составляет 45%, на лето-осень приходится около 45 %, на зиму – 10 %. Летне-осенняя межень нарушается дождевыми паводками, незначительными по размерам и продолжительности. Классификация рек по М.И. Львовичу [1938]: смешанное питание с преобладанием грунтового стока летом – *ixeu*. Соответствует одному гидрогеологическому району, по В.А. Земцову [1979] (см. рисунок 2.3.3), имеющему большую вариацию по расчлененности рельефа, заболоченности и заозеренности территории. Основное питание

рек происходит за счет вод в среднечетвертичных песчаных отложениях. Лесистость – 17-30 %, заболоченность резко увеличивается до 55 %, заозеренность по бассейнам варьирует в пределах 14-23 %. Широкое распространение песчаных отложений, близкое к поверхности залегание подземных вод, плоский рельеф – все это приводит к достаточной высокой зарегулированности стока.

IV район включает Казым и Полу́й – реки, протекающие по низменной территории, водный режим характеризуется хорошо выраженным весенне-летним половодьем и летне-осенними паводками. Средняя продолжительность половодья – 67 дней. Весенний сток составляет 43-57 %, сток летне-осенней межени – 25-38 %, зимней межени – 18 %. Классификация рек по М.И. Львовичу [1938]: изменяется с юга на север от *ихеу* (смешанное питание с преобладанием грунтового стока летом) до *ихЕу* (смешанное питание с преобладанием грунтового стока преимущественно летом). Лесистость района – 60 %, заболоченность – 10%, заозеренность – 3%. По гидрогеологическому районированию В.А. Земцова [1979] реки относятся к двум разным, но соседним районам (см. рисунок 2.3.3). На севере района в бассейне может быть влияние вечной мерзлоты (для бассейна Полу́я), на юге (бассейн Казыма) сохраняется реликтовая мерзлота, залегающая на большой глубине (150-200 м), не оказывая влияния на сток; небольшая заболоченность района мало влияет на сток воды [Земцов, 1979].

V район (Парабель, Васюган, Большой Юган, Демьянка) – реки с весенне-летним половодьем и летне-осенней меженью. Продолжительность половодья – 89 дней, максимальная – 140 дней. Объем стока половодья составляет 58 %, летне-осенней межени – 35 %, зимней межени – 7 %. Классификация рек по М.И. Львовичу [1938]: смешанное питание с преобладанием снегового стока летом – *схеу*. Лесистость изменяется от 45 до 65 %, заболоченность растет с юго-востока на северо-запад с 30 до 50 %, заозеренность – не более 2 %. Высокая степень заболоченности приводит к высокой зарегулированности стока. По районированию В.А. Земцова [1976] (см. рисунок 2.3.3) реки относятся к трем разным, но соседним и очень похожим районам, характеризующимся преимущественно плоским рельефом, различной степенью дренированности и возрастанием заболоченности с юго-востока на северо-запад. Водоносные горизонты в основном приурочены к песчаным среднечетвертичным отложениям [Земцов, 1979].

Реки Тобол, Тавда, Тура относятся к VI району. Летне-осенняя межень неустойчивая, прерывается частыми дождевыми паводками, количество которых в отдельные годы доходит до 15. Дождевые паводки вниз по течению рек накладываются один на другой и трансформируются до 1-2 продолжительных подъемов уровней за сезон. Классификация рек по М.И. Львовичу [1938]: смешанное питание с преобладанием

снегового питания преимущественно весной ($sxPy$) на западе и преимущественно снеговое питание весной ($SxPy$) на востоке района. Лесистость бассейнов колеблется от 50 до 70 %, заболоченность – от 3 до 20 %, заозеренность – до 5 %.

VII район объединяет реки Конду и Северную Сосьву. Последняя имеет весенне-летнее половодье, летние и осенние паводки, в отдельные годы превышающие половодье. Продолжительность половодья на Северной Сосьве – 80-90 дней. На период половодья приходится 55-70 % годового объема стока, на лето-осень – до 37 %, на зиму – до 5 %. Классификация реки по М.И. Львовичу [1938]: смешанное питание с преобладанием снегового питания преимущественно летом – $sxEy$. Лесистость – 80 %, заболоченность – 15 %, заозеренность – 2 %. Для р. Конды характерно очень растянутое весенне-летнее половодье с постепенным подъемом и спадом половодья. Классификация реки по М.И. Львовичу [1938]: смешанное питание с преобладанием грунтового стока летом – $ихеу$. Лесистость составляет 65 %, заболоченность – 30 %, заозеренность – 2 %. У Конды очень высокая зарегулированность стока болотами. Для обеих рек характерно регулирование стока проточными озерами-сорами, аккумулирующими весенний сток и отдающими его в течении летне-осеннего периода [Куракова, в печати].

2.3. Специфические условия развития русловых процессов

Исследуемая таежная часть Обь-Иртышского бассейна характеризуется рядом специфических проявлений русловых процессов. Во-первых, активный подмыв берегов и их обрушение вместе с растительностью приводит к накоплению в русле деревьев и кустарников, формирующих заломы на реках – в основном, на притоках Оби. Они распространены, главным образом, в таежной зоне и преимущественно на малых реках в бассейнах Тыма, Ваха, Васюгана, Лямина, Тромъегана, Конды и др, но иногда могут встречаться и на более крупных реках [Земцов, Евсеева, 1987]. Высота заломов достигает 1-2 м, длина – от первых метров до сотен метров. Более крупные заломы распространены значительно реже (до 12 м в высоту и 2 км в длину), но могут существовать десятки и даже сотни лет [Евсеева, Земцов, 1990]. Выделяют два типа заломов. Первый – заломы, перегораживающие все русло. В таком случае выше ядра залома [С. Чалов и др., 2010] наблюдается подпор и снижение скоростей, что приводит к аккумуляции наносов. Ниже залома, наоборот, скорости течения растут, и осветленные воды способствуют активному размыву берегов и дна русла, активизируя его деформации. Если такой залом образовался на излучине, то она может спрямиться до достижения критических параметров. Заломы второго типа частично перекрывают живое сечение русла. Динамическая ось потока

огибает препятствие и вызывает интенсивный размыв противоположного берега. Заломы, способствуя возникновению поперечной циркуляции, существенно изменяют форму русла [Земцов, 1976]. Кроме того, заломы являются одной из причин образования заторов льда, а также обуславливают повышение уровня грунтовых вод. Это, в свою очередь, провоцирует развитие склоновых процессов (оползни, суффозии и т.д.) и способствует заболачиванию территории [Евсеева, Земцов, 1990].

Широкое распространение болот на территории таежной зоны бассейна Оби и Иртыша неоднозначно влияет на условия развития русловых деформаций. С одной стороны, торфяные отложения являются трудно размываемыми и способствуют закреплению первичных форм рельефа. Выходы линз торфа по берегам образуют локальные выходы торфяных печин, нарушающих структуру потока. С другой стороны, препятствуя инфильтрации атмосферных осадков, значительно увеличивают сток в реки, что способствует дополнительному размыву берегов [Евсеева, Земцов, 1990]. Кроме того, есть глинистые печины на меандрирующих реках, в т.ч на излучинах Оби и рукавов, Иртыша, также оказывающие влияние на структуру потока (рисунок 2.3.1).

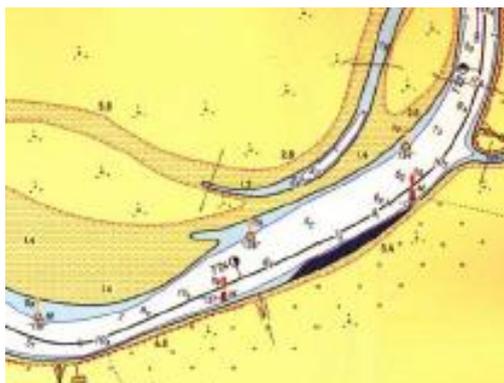


Рисунок 2.3.1 – Фрагмент русла нижней Оби с печиной в правом берегу (темный цвет)

На севере Обь-Иртышского бассейна встречаются многолетнемерзлые грунты, которые, по сведениям В.А. Земцова [1976], разрушаются менее интенсивно, так как энергия водного потока тратится, прежде всего, на оттаивание пород, слагающих берега, а затем уже на их размыв. Он также показал, что тепловое воздействие потока сравнительно невелико: например, на р. Полуе на пике половодья глубина оттаявшего слоя составила около 10% от общей глубины. Основные размывы наблюдаются гораздо позднее, в июле, т.е. когда максимальные расходы воды уже прошли. Бóльшее влияние мерзлота оказывает на малые реки и временные водотоки в бассейне р. Полуя самого северного притока Оби.

В устьях некоторых притоков Оби и Иртыша (Лямин, Казым, Полуй и Конда) формируются проточные озера-соры. Они приурочены к тыловой части поймы и образуются из-за систематической аккумуляции наносов и направленного повышения

отметок дна главной реки и ее подпорного воздействия на притоки. От года к году такие приустьевые озера-разливы могут менять свои размеры и конфигурацию в зависимости от гидроклиматических условий, выражающихся в объемах стока в период весеннего половодья и повышения уровней воды в главной реке и на притоке. Соры также выполняют важную гидрологическую функцию – регулирование стока [Чалов, 2017a]. Б.П. Ткачев [2015] отмечал важную роль морфологического и литологического строения долины и ее уклонов в формировании и развитии приустьевых озер. Наличие в устьях обширных понижений приводит к их заполнению паводочными водами и дополнительному осаждению наносов. В межень соры сильно мелеют, обнажая песчаное или илистое плоское дно, которое может представлять собой сеть связанных между собой протоков как, например, на р. Конде. Б.П. Ткачев [2015], говоря о природе происхождения соров, выделял реликтовую гипотезу и гипотезу их появления в депрессионных понижениях в устьях рек из-за протаивания и проседания грунта в зоне сплошного или островного распространения многолетнемерзлых пород, но сам автор склонялся к гидродинамической гипотезе, заключающейся в различной по высоте и времени прохождения волн половодья на главной реке и ее притоках, что в совокупности с береговым валом, расположенным вдоль русла главной реки, обуславливает изменение вектора кинетической энергии потока от поступательного во вращательное движение, что формирует в результате в устье реки воронку, которая активно зарастает.

2.4. Антропогенные факторы русловых процессов

Антропогенное воздействие на реки Обь-Иртышского бассейна разнообразно и в разных его частях неодинаковое. Однако по сравнению с реками Восточно-Европейской равнины они практически остаются в относительно естественном состоянии. Лишь на юге бассейна – в степной и лесостепной зонах – и в верхнем течении левых притоков Иртыша оно достаточно велико.

На верхней Оби создано водохранилище Новосибирской ГЭС, ряд гидроузлов расположен на Иртыше в пределах Казахстана и в верховьях Тобола. На Кети, Туре, Иртыше и Конде сооружены многочисленные дамбы и полузапруды, но все они находятся в основном за пределами лесной зоны [Русловой..., 1994]. Влияние наиболее крупных объектов – Новосибирского гидроузла на Оби и каскада ГЭС на верхнем Иртыше – на водный и русловый режим обеих рек в пределах рассматриваемых участков проявляется в минимальной степени. Естественный водный режим Оби восстанавливается от слияния р. Томи, но сток взвешенных наносов – уже ниже устья р. Кети, захватывая часть среднего

течения реки [Чалов и др., 2000; Русловые...,2001]. Водохранилища, находящиеся в казахстанской части Иртыша, оказывают влияние на гидрологический режим реки только до г. Омска [Дегтярев, 1987]. Другие масштабные воздействия на русловой режим рек (дноуглубительные работы на больших судоходных реках, добыча аллювиальных строительных материалов, протяженные урбанизированные участки), имеющие региональный характер, отсутствуют на Оби, Иртыше и их притоках в пределах лесной зоны, но города, крупные населенные пункты и объекты нефтегазодобычи, прорези по трассе судового хода, карьеры, мостовые и подводные переходы, берегозащитные мероприятия и другие гидротехнические мероприятия оказывают на русла рек местное воздействие. Сказываясь в пределах коротких участков, отдельных форм русла, не приводя к техногенной его трансформации.

На реках бассейна во многих местах происходит добыча песчано-гравийной смеси и песка. Крупные пойменные и русловые карьеры находятся на Оби (месторождения Дикая коса, Чангарское, Нижневартовское, Остров Кишмель и др.), Томи (месторождения Вершинское, Попадейкинское, Чернореченское и др.), Чулыме (месторождения Вознесенское, Сергеевское и др.), Агане и Иртыше [Русловой..., 1994; Схема..., 2014а,б]. Из русла Томи в районе г. Томска ежегодно во второй половине XX в. извлекалось около 1,5 млн. м³ гравийно-галечной смеси [Беркович и др., 1998]. Пожалуй, это – единственный столь крупный объект русловой добычи на реках лесной зоны бассейна. Из русла Иртыша было в то же время извлечено до 2 млн м³ песка, но за пределами рассматриваемой его части (в районе г. Омска) [Русловой..., 1994; Беркович, 2001]. Отрицательными последствиями разработки русловых карьеров является посадка уровней (на Чулыме уровни снизились на 0,5 м, на Томи – более чем на 2 м). Восстановление и занесение карьеров может происходить крайне медленно: только на 30% произошло занесение карьеров в русле Иртыша у г. Омска спустя несколько десятилетий после их разработки [Беркович, Ботвинков и др., 2010]. Карьеры вызывают врезание русла, как это было, например, на Томи, на которой за одно десятилетие в результате регрессивной эрозии был смыт значительный смыв аллювия, обнажив скальный порог [Чалов, 2019; Беркович и др., 1998], развитие маловодных рукавов, в которых располагаются карьеры и т.д.

Дноуглубительные работы на судоходных реках бассейна – достаточно распространенный вид антропогенного воздействия, но их проектирование и выполнение основывается на использовании закономерностей руслоформирующей деятельности рек. На Оби до 1990-х гг ежегодное извлечение грунта в ходе работ колебалось от 8-10 до 10-15 млн м³, но на долю среднего течения Оби и его притоков приходилось не более 10-15% от общего объема. Разработка дноуглубительных прорезей достаточно активна в нижнем

течении Иртыша, Тобола и Туре, где наряду с работами на перекатах проводилось искусственное спрямление ряда крутых петлеобразных излучин, предваряющих естественный процесс. Спрявление излучин для сокращения водного пути проводилось на Иртыше (рисунок 2.4.1), Конде, Казыме и Чулыме [Дегтярев, 1987]. Существуют проекты по спрявлению излучин на Оби у г. Колпашево, на Иртыше у г. Ханты-Мансийска и на р. Тоболе.

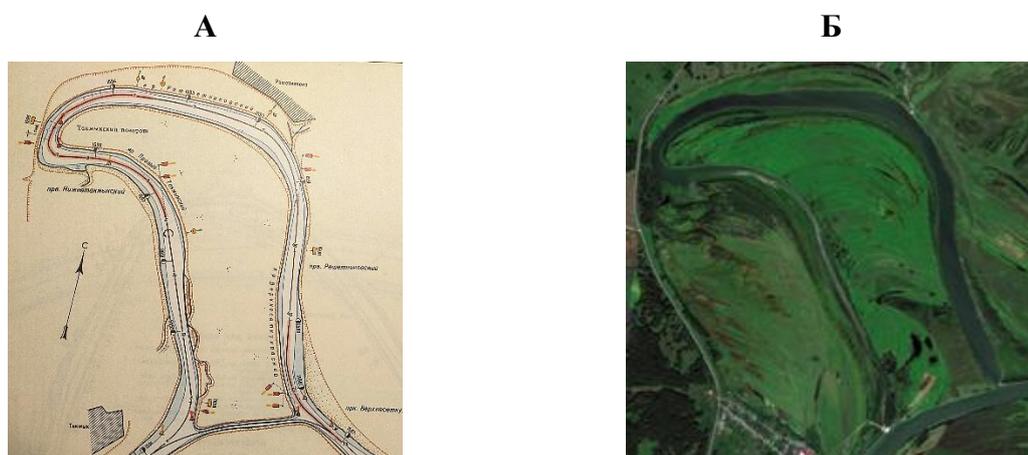


Рисунок 2.4.1 – Искусственно спрямленная излучина (Такмыкский поворот) на нижнем Иртыше: А – карта русла 1975 г, Б – космический снимок 2021 г.

Дноуглубительные наравне с выправительными работами составляют совокупность мероприятий по регулированию русел рек и их переформирований. Изучение естественного развития русловых деформаций имеет важное значение для составления научно-обоснованных рекомендаций по выполнению работ, направленных на улучшение условий судоходства, водохозяйственное освоение и использование рек и их прибрежных территорий и повышение эффективности выполняемых мероприятий (максимальное использование технических возможностей, снижение экономических издержек, обеспечение экологической безопасности) [Чалов, 2019].

Специфические мероприятия для улучшения условий судоходства проводились также для приустьевых участков рек Конды и Казыма. На Кондинском соре в результате разработки спрямляющих каналов и возведения струнаправляющих дамб русло реки с блуждающим фарватером между множеством осередков превратилось в удобное для судоходства извилистое русло с высокими песчаными отмелями, минимальные глубины увеличились в 1,5 раза. В устье р. Казыма на соровом участке с большим количеством перекатов, лимитирующих судоходство, были проведены дноуглубительные и выправительные работы, приведшие к увеличению глубин в 2 раза и увеличению радиусов поворотов [Дегтярев, 1987].

Высокие темпы размыва берегов, особенно вогнутых на излучинах русла и рукавов пойменно-русловых разветвлений и раздвоенного русла, обуславливают реальные (уже происходит разрушение) угрозы для стоящих на берегах населенных пунктов и объектов жилой и хозяйственной инфраструктуры [Чалов, 2019]. Берегоукрепление на значительном протяжении береговой полосы выполнено в городах Нижневартовске, Сургуте, Мегионе, возле мест расположения скважин и т.д. В крупных городах создаются гранитные набережные, которые защищают береговую зону от размыва, как это сделано в Тюмени (рисунок 2.4.2), Нижневартовске, Сургуте, Томске и других крупных городах.



Рисунок 2.4.2 – Набережная р. Туры и пешеходный мост через нее в г. Тюмени.
(фото О.А. Кременной)

Строительство мостовых переходов, сооружение инженерных объектов в русле, на берегах рек и их пойм, в том числе в пределах городских территорий, может существенно повлиять на русловые деформации. Крупные автомобильные и железнодорожные мосты в пределах изучаемой территории расположены на Оби (г. Сургут), Иртыше (г. Ханты-Мансийск, г. Тобольск), Тавде (с. Нижняя Тавда, п. Усть-Тавда) и Туре (г. Тюмень). В будущем планируется строительство еще одного моста у г. Сургута, в створе г. Салехарда и выше г. Колпашево. Последствия строительства железнодорожного и автомобильного мостов в г. Сургуте привело к осложнению эксплуатации водного пути в результате переформирования рукавов и нарушения правила «восьмерки», характерного для развития сопряженных разветвлений, что повлекло за собой проведение дополнительных гидротехнических мероприятий для сохранения нормальных условий судоходства. Здесь к 2016-17 гг преимущественное развитие в верхнем звене получил правый рукав, относительный расход которого возрос до 68 %, и в него был перенесен судовой ход (рисунок 2.4.3). Это повлекло за собой переформирования в левом рукаве среднего звена, откуда стрежень потока стал направляться в правый рукав нижнего звена – протоку Старая Обь, тогда как левый судоходный (протока Малая Романовская) оказался вне основного направления течения, доля расхода в нем сократилась до 30%. В этом рукаве при

строительстве мостовых переходов судоходными пролетами вдоль левого берега была разработана капитальная прорезь, что отвечало состоянию русла в то время. Происходящие переформирования не только «возвращают» судовой ход в правый рукав – Старую Обь (здесь он находился до строительства мостов), но и оставляют судоходные пролеты в области замедления течения и способствуют размыву русла в правобережной его части (рисунок 2.4.3Б). Это создает не только определенные трудности в эксплуатации водного пути, но и аварийную ситуацию на мостовых переходах.

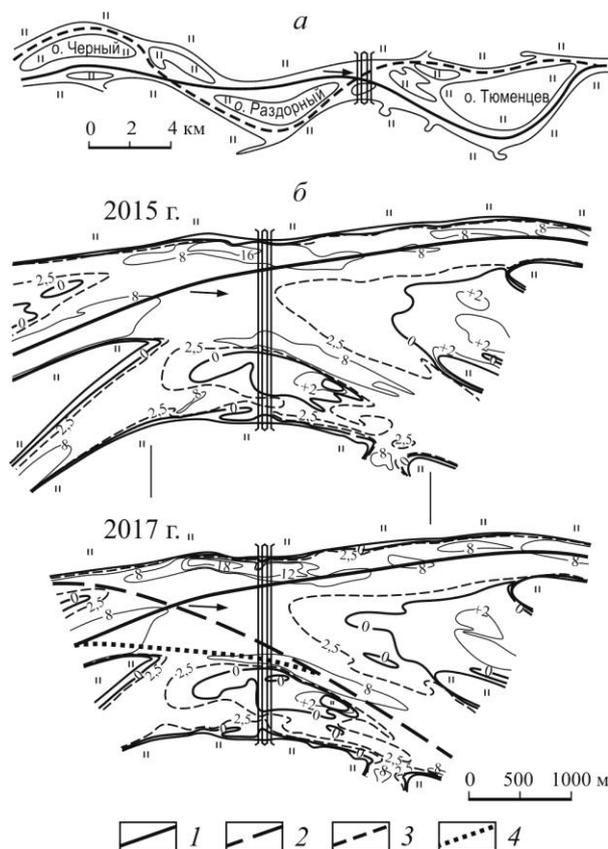


Рисунок 2.4.3 – Переформирования сопряжённых разветвлений и их влияние на изменения судовой хода и состояние мостовых переходов: А – план русла и основные положения стрежня потока (в квадрате выделен узел сопряженных рукавов второго и третьего звеньев); Б – возможные изменения положения стрежня потока в узле сопряжения второго (о. Раздорный) и третьего (о. Тюменцев) звеньев. 1 – существующий судовой ход (2018 г.); 2, 3 – его возможные изменения в связи с переформированиями сопряженных рукавов; 4 – судовой ход до 2015 г. [Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 2021]

Глава 3. Исходные материалы и методы исследования

3.1. Используемые материалы

Анализ русел рек Обь-Иртышского бассейна, оценка их современных темпов переформирования и размывов берегов были выполнены на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (таблица 3.1.1, Приложение 1).

Таблица 3.1.1 – Перечень спутниковых систем, используемых в работе

| Спутниковая система | Источник | Тип данных | Пространственное разрешение, м |
|---------------------------|----------|---------------------------|--------------------------------|
| CORONA KH-4A, KH-4B, KH-9 | USGS | Монохромный снимок | 1,8-9 |
| Landsat 1 MSS | USGS | Мультиспектральный снимок | 60 |
| Landsat 2 MSS | USGS | Мультиспектральный снимок | 60 |
| Landsat 4 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| Landsat7 ETM+ | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| Landsat8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |

Для всех рек были отобраны космические снимки за август-сентябрь, когда проходит многоводная фаза водного режима, уровни снижаются и хорошо видны бровки берегов. Самыми ранними спутниковыми изображениями Оби являлись монохромные космические снимки (разрешение снимков – от 1,8-2,7 до 6-9 м/пикс) за 1968-1974 гг (рисунок 1.3.1). Они представлены снимками системы «CORONA» американских разведывательных миссий «KH-4A», «KH-4B» и «KH-9», которые были созданы в 50-70-е гг. Эти данные были рассекречены Министерством обороны США и в настоящее время предоставляются на коммерческой основе через веб-сайт архива Геологической службы США (USGS) «EarthExplorer» [<https://earthexplorer.usgs.gov/>].



Рисунок 3.1.1 – Снимки, полученные со спутника «CORONA KH-4B» за 16.08.1968 г (р. Обь, район г. Колпашаво)

Через портал USGS «EarthExplorer» на исследуемые участки Оби, Иртыша и их притоков были использованы мультиспектральные космические снимки за 1973-2021 гг, полученные со спутников семейства «Landsat (1-2 MSS, 4-5 TM, 7 ETM+, 8 OLI/TIRS)» и «Sentinel-2». Данные, получаемые с этих сканирующих систем, отличаются различным количеством мультиспектральных каналов и пространственным разрешением изображений, так как при их создании использовалось различное съемочное оборудование. Разрешение снимков возрастает с 60 м/пикс («Landsat 1-2 MSS») до 10 м/пикс («Sentinel-2»). Используемые снимки (рисунок 3.1.2.) являются мультиспектральными, т.е. получаются в результате регистрации одного и того же кадра в разных участках электромагнитного спектра (например, в инфракрасной или видимой области). Дальнейшая их обработка основывается на спектральном анализе (отражательной способности) различных элементов земных ландшафтов. Получив несколько изображений в различных участках спектра, можно более четко идентифицировать объекты.



Рисунок 3.1.2 – Снимок, полученный со спутника «Landsat 4 TM» за 28.08.1989 г
(впадение р. Чулым справа в р. Обь)

С 2009 г используется спутник «Landsat 7» (рисунок 3.1.3), на котором установлен улучшенный тематический сканер (ETM+).

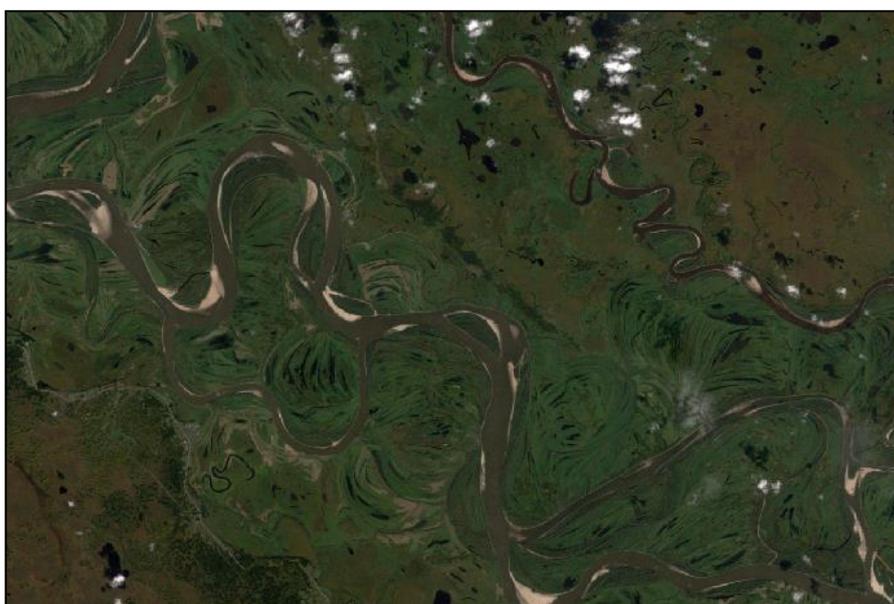


Рисунок 3.1.3 – Снимок, полученный со спутника «Landsat 7 ETM+» за 12.09.2001 г
(общая долина р. Оби слева и р. Кети справа)

Одни из самых современных космических снимков принадлежат программе спутника «Landsat 8 OLI/TIRS», запущенного в 2013 г, и использующего новую схему «Pushbroomscanner» с линейными датчиками (рисунок 3.1.4). Спутники данной системы получают изображения в видимом диапазоне волн, в ближнем и дальнем ИК, с разрешением снимков – 15, 30 и 100 м (панхроматический канал/мультиспектральный канал/дальний ИК).



Рисунок 3.1.4 – Снимок, полученный со спутника «Landsat 8 OLI/TIRS» за 21.09.2018 г в комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала (р. Кеть)

Для снимков Landsat 8, как и для Landsat 5 и 7, возможно комбинировать каналы в определенной последовательности для того, чтобы получать дополнительную информацию с изображений. Комбинация 5,6 и 4 каналов – ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала – позволяет более четко дешифровать границы между береговыми бровками и водной поверхностью (см. рисунок 3.1.4), что позволяет применить к ним различные ГИС-инструменты для автоматизированного получения данных о размывах берегов.

Космические аппараты «Sentinel-2» оснащены оптико-электронным мультиспектральным сенсором для съемок с разрешением от 10 до 60 м в видимой, ближней инфракрасной (VNIR) и коротковолновой инфракрасной (SWIR) зонах спектра (рисунок 3.1.5), включающих в себя 13 спектральных каналов, что гарантирует отображение различий плановых изменениях русловой сети, в том числе временных при сравнении одновременных снимков, а также сводит к минимуму влияние состояния атмосферы на качество съемки.



Рисунок 3.1.5 – Снимок, полученный со спутника «Sentinel-2» за 26.08.2021 г (р. Обь слева и р. Кеть справа)

Космические снимки также использовались для выделения морфодинамических типов русла и морфологически однородных участков и определения морфологических параметров форм русла (длины по руслу l , шага L , радиуса кривизны r и ширины русла в вершине $B_{\text{верш}}$), которые использовались для гидролого-морфологического анализа.

Полученные по космическим снимкам данные о скорости размыва берегов (средняя и максимальная) и протяженность фронтов размыва дополнительно проверялись и корректировались по картам рек Оби, Иртыша и других судоходных рек (ранее они назывались лоцманскими), издаваемых регулярно (их масштаб зависит от разменов рек и сложности ее участков: 1:10000, 1:15000, 1:20000, 1:25000 и 1:50000 за разные года (в основном 1970-е гг и 2009-2014 гг). На картах помимо подробного описания реки имеется информация о типах ее берегов (в т.ч. пойменные яры или террасы), расположении и длине фронтов их размыва (рисунок 3.1.6).

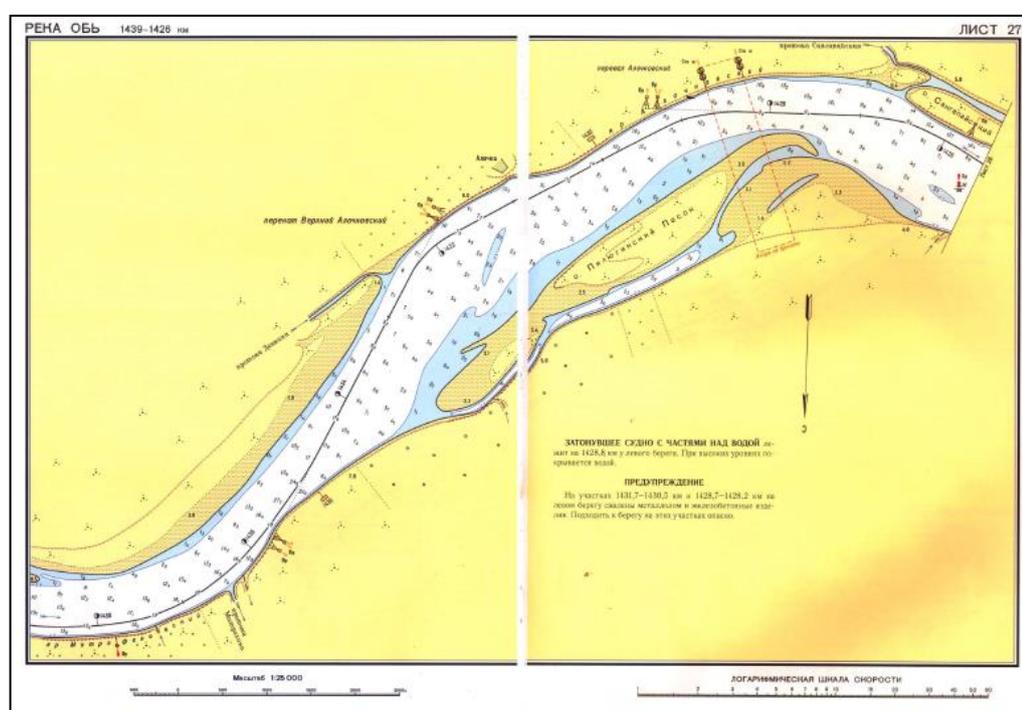


Рисунок 3.1.6 – Фрагмент карты русла средней Оби 2009 г.

С этой же целью использовались топографические карты масштабом 1:50000 и 1:100000, выпущенные Топографическим Управлением Генерального Штаба Вооруженных Сил СССР в 1950-1980-х гг., по которым также определялись уклоны, учитывающиеся при расчете устойчивости русел Оби и Иртыша, и высоты размываемых пойменных яров [<https://satmaps.info/>] (рисунок 3.1.7).

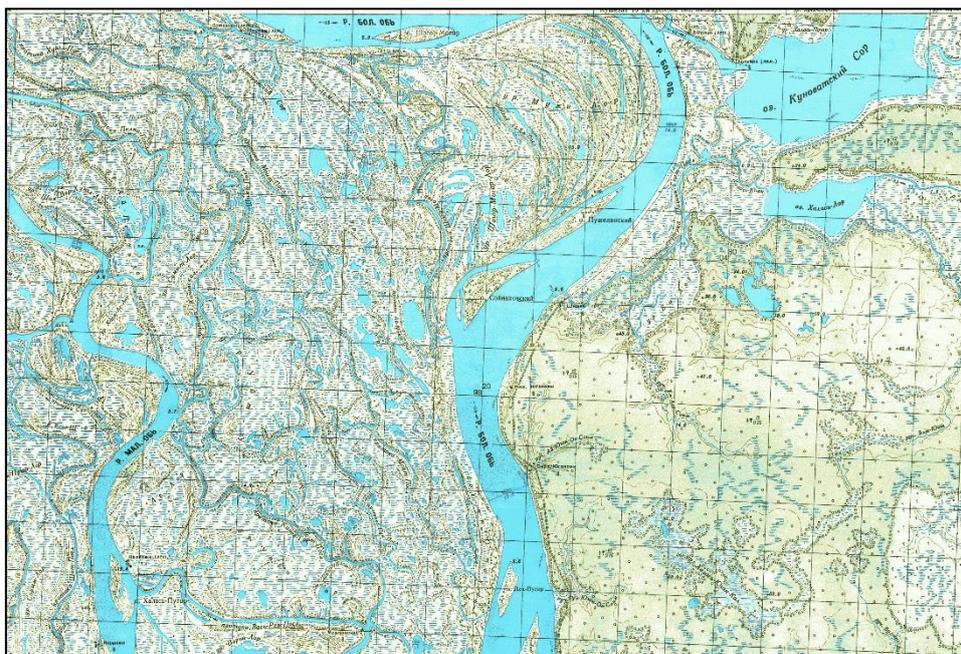


Рисунок 3.1.7 – Фрагмент топографической карты на участок нижней Оби [Генштаб, М 1:100000]

Дополнительно использовались материалы съемок русла, предоставленные Администрациями Обского и Об-Иртышского бассейнов внутренних водных путей и их филиалами, отчеты работ прежних лет (по Томи, Оби – Колпашево), составленные сотрудниками НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ, а также данные натурных исследований (расходы воды, скоростные поля, мутность воды, состав руслообразующих наносов и др.) и гидрологические данные, полученные из гидрологических ежегодников и гидрологической изученности и информационных ресурсов Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [<https://gmvo.skniivh.ru>] и The Global Runoff Data Centre [<https://www.bafg.de/>].

3.2. Методы исследования

Доступ к разновременным космическим снимкам и современные методы их обработки с применением ГИС-технологий дает широкие возможности для проведения ретроспективного анализа смещений русел средних, больших и крупнейших рек, получения большого объема информации об их переформированиях за многолетний период с количественными и качественными характеристиками горизонтальных русловых деформаций. Для рек Обь-Иртышского бассейна были использованы два метода для получения представлений о современных темпах размыва берегов.

Первый, традиционный метод, основанный на сопоставлении положения береговой линии, по оцифрованным космическим снимкам разных лет, применялся для средней и нижней Оби (рисунок 3.2.1).

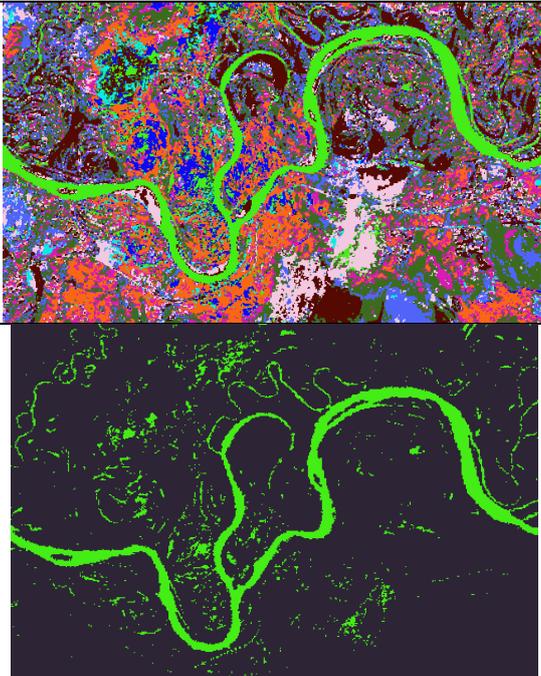
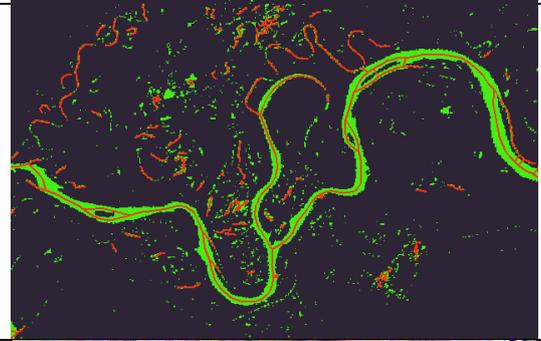
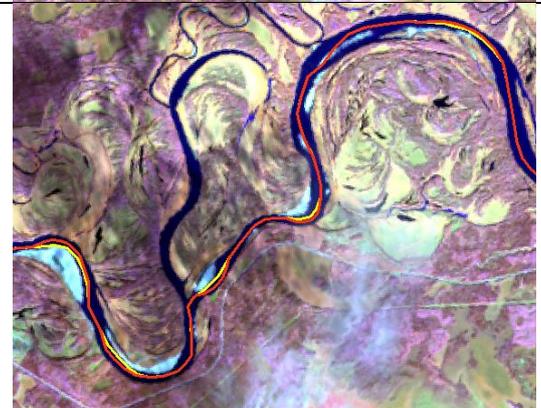


Рисунок 3.2.1 – Сопоставление границ береговой линии средней Оби за 1970 (красная линия) и 2018 (зеленая линия) гг

Второй метод был использован для определения размывов берегов Иртыша, других средних и больших рек бассейна, имеющих преимущественно неразветвленные меандрирующие русла. Этот подход, разработанный в НИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ, основан на возможностях инструментов ГИС-проекта ArcGIS, которые позволяют автоматизировать процесс сопоставления одновременных спутниковых изображений и ускорять, по сравнению с традиционным методом, получение информации о размывах берегов, их темпах и протяженности, а также пространственном расположении и изменении по длине русла [Завадский, Чалов и др., 2019]. Основные этапы автоматизированного метода получения динамических характеристик русла представлены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 – Этапы автоматизированного метода получения динамических характеристик русла [Завадский, Чалов и др., 2019]

| Этап | Описание | Пример |
|----------------|--|--------|
| I – подготовка | Загрузка спутникового изображения в комбинации ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала, в которой лучше всего различима граница между сушей и водной поверхностью | |

| | | |
|-------------------------------------|---|--|
| <p>II – выделение русла реки</p> | <p>Проведение неконтролируемой классификации изображения и выделение двух классов «вода» и «суша»</p> |  |
| <p>III, IV – осевая линия русла</p> | <p>Построение осевой линии русла при помощи инструмента «Векторизация»</p> |  |
| | <p>Проверка и редактирование осевой линии русла в полуавтоматическом режиме с использованием инструмента «Трассировка»</p> |  |
| <p>V – сравнение</p> | <p>Получение осевых линий за разные годы, их сравнение и расчет характеристик горизонтального смещения русла при помощи инструментов ArcToolbox</p> |  |

| | | |
|---|--|--|
| <p>VI – изменение размыва берегов по длине реки</p> | <p>Получение характеристик размыва берегов по длине русла при помощи инструментов ArcToolbox</p> |  |
|---|--|--|

В ходе исследования было выявлено, что данный автоматизированный метод успешно применим для рек со среднегодовыми расходами воды более $100 \text{ м}^3/\text{с}$, так как только при такой водоносности русла рек имеют достаточную ширину на космических снимках, позволяющую дешифровать и выполнять необходимые операции в программе ArcGIS на значительных по протяженности участках (ширина реки как минимум 2 пикселя на снимке, т.е. 20 м и более в зависимости от разрешения снимка).

Помимо этого, на реках, обрабатываемых автоматизированным методом, были выбраны ключевые участки, где расчеты размыва берегов производились традиционным методом. Полученные данные автоматизированным и традиционным методом оказались близки друг другу, различаясь не более чем, на 10 %.

Для обоих методов была определена точность. Для Оби, для которой использовались снимки высокого разрешения системы «CORONA» за продолжительный период времени (около 50 лет), минимальный порог скорости отступления берегов был определен от 0,5 м/год. Для остальных рек (Иртыш и притоки Оби и Иртыша) разрешение космических снимков (30 м) и рассматриваемый временной период в среднем около 30 лет определяют пороговое значение выявляемых скоростей размыва берегов – 1 м/год. В эти же пороги закладывались и погрешности, которые могут возникнуть в результате привязки снимков, ручной оцифровки береговой линии и применения автоматизированного метода. Ввиду того, что значения определялись за большой период времени, то влияние колебаний уровней воды, смен фаз водного режима и периодов водности сводится к минимуму. По картам русла (ранее они назывались лоцманскими) и по наблюдениям в поле проводилось уточнение границ фронтов размыва.

На основе сопоставления карт рек проводился ретроспективный анализ переформирования русла, определялись параметры форм русла, выделялись морфодинамические типы русла (рисунок 3.2.2), уточнялись положения фронтов размыва, их границы.

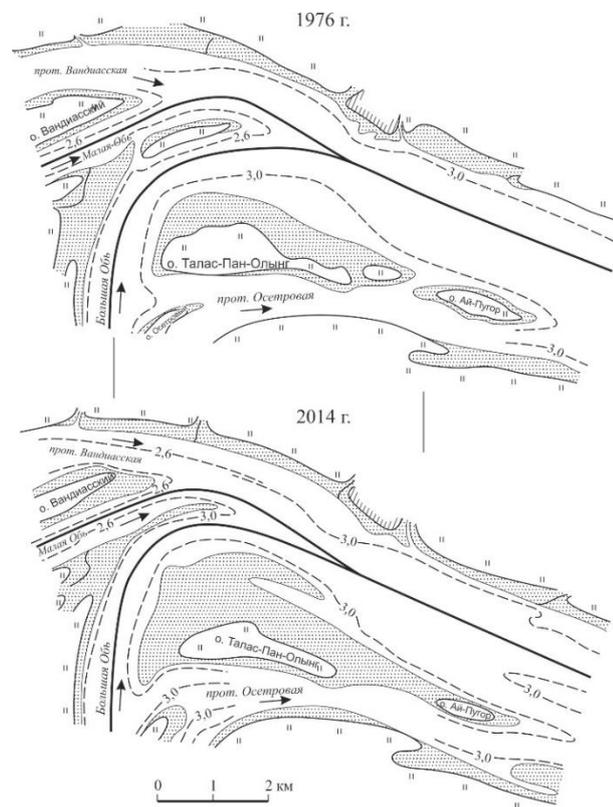


Рисунок 3.2.2 – Сопоставление карт русла нижней Оби на узел слияния Большой и Малой Оби за 1976 и 2014 гг

Рассмотренные подходы к изучению русловых деформаций, будучи камеральными, являются составной частью русловых исследований. Важнейшая их часть – измерения и дешифрирование космоснимков в натуральных условиях. Экспедиционные работы выполнялись в 2018-2022 гг во время половодья на Оби от устья р. Томи до г. Салехарда и на Иртыше от г. Омска до устья. В ходе этих исследований проводились инструментальные измерения скоростей течения, являющихся основой для построения скоростных полей на ключевых участках рек и определения расходов воды в рукавах и протоках, используемых для анализа рассредоточения стока воды по длине рек. Измерения выполнялись акустическим доплеровским измерителем скоростей течения воды ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) (рисунок 3.2.3) с промерного катера.



Рисунок 3.2.3 – ADCP RiverSurveyor M9 «RiverRay» в рабочем состоянии

Используемая аппаратура позволяет получить данные о скоростях потока и расходах воды с высокой детальностью и незначительной погрешностью (абсолютная погрешность измерений скорости течения в диапазоне измерений от 0,03 до 0,8 м/с не превышает 0,003 м/с; относительная погрешность измерений скорости водного потока в диапазоне измерений от 0,8 до 4,0 м/с не превышает $\pm 0,35\%$).

Принцип работы акустического измерителя скоростей течения воды основан на эффекте Доплера, заключающегося в измерении величины смещения частоты акустического сигнала, рассеянного переносимыми водой мелкими взвесями, пузырьками и прочим относительно частоты излученного акустического сигнала. Измерения производятся по всему объему воды, находящемуся под прибором, который разделяется на ячейки с замеряемыми гидравлическими характеристиками потока. Такой проход по поперечному профилю позволяет получить поперечное сечение потока со скоростями и направлениями течения в створе, а также суммарный расход воды (рисунок 3.2.4). Запись и обработка «сырых» данных с прибора ADCP производится с помощью специализированной программы обработки данных «WinRiverII». Это позволяет дифференцировать данные по частям поперечного сечения – на плесах и мелководьях, на затопленных осередках и протоках возле них. Полученные значения рассредоточения стока воды по рукавам разветвлений и раздвоенных русел, построенные скорости потока сопоставлялись с данными о распространении фронтов размыва, их интенсивностью и протяженностью для выявления между ними связей.

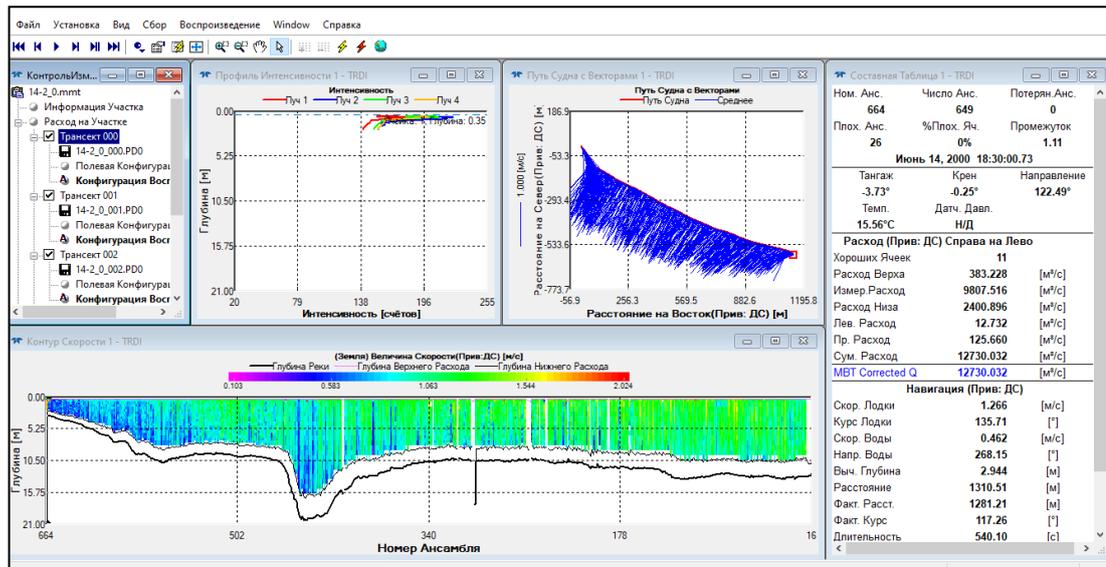


Рисунок 3.2.4 – Компьютерная визуализация результата измерения скоростей течения ADCP. Вертикальный разрез скоростного поля потока в створе Оби выше слияния с Иртышом (суммарный расход воды р. Оби на 14.06.2021 г – 12730 м³/с)

Определение мутности воды осуществлялось двумя способами: весовым (когда получают фактическое содержание взвешенных наносов в единицах массы) с помощью фильтровальной системы и более современным – оптическим (когда измеряют характер рассеивания света частицами в пробе воды, а результаты выдаются в относительных единицах) с применением турбидиметра. Полученные обоими способами данные о мутности для Оби и Иртыша позволили дополнительно подтвердить и объяснить закономерности распространения размыва берегов.

Дополнительно для уточнения полученных данных о размыве берегов проводилось их картирование во время экспедиционных исследований с визуальной оценкой их интенсивности (сильная или слабая) и границ размыва (рисунок 3.2.5).



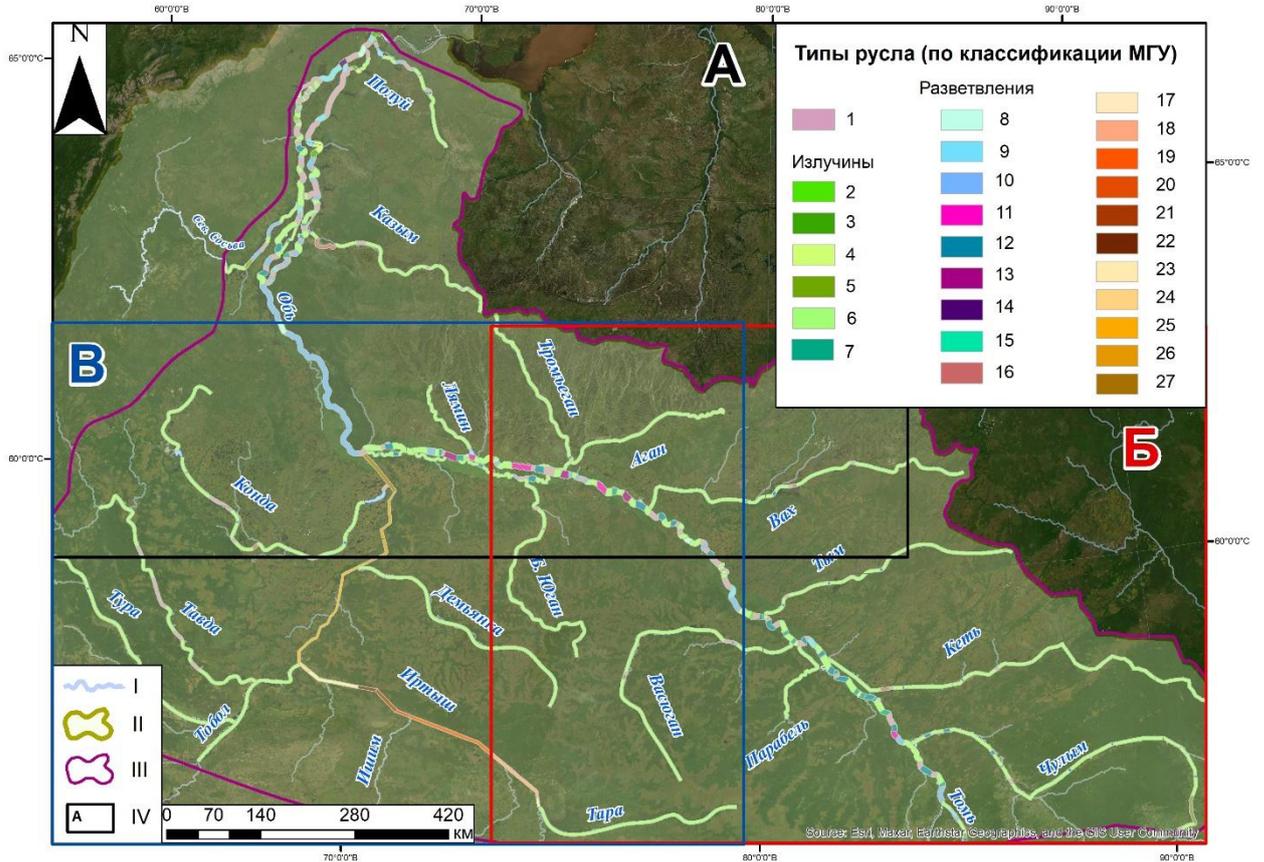
Рисунок 3.2.5 – Фото размыва оголовка острова (А) и его расположение на космическом снимке (Б)

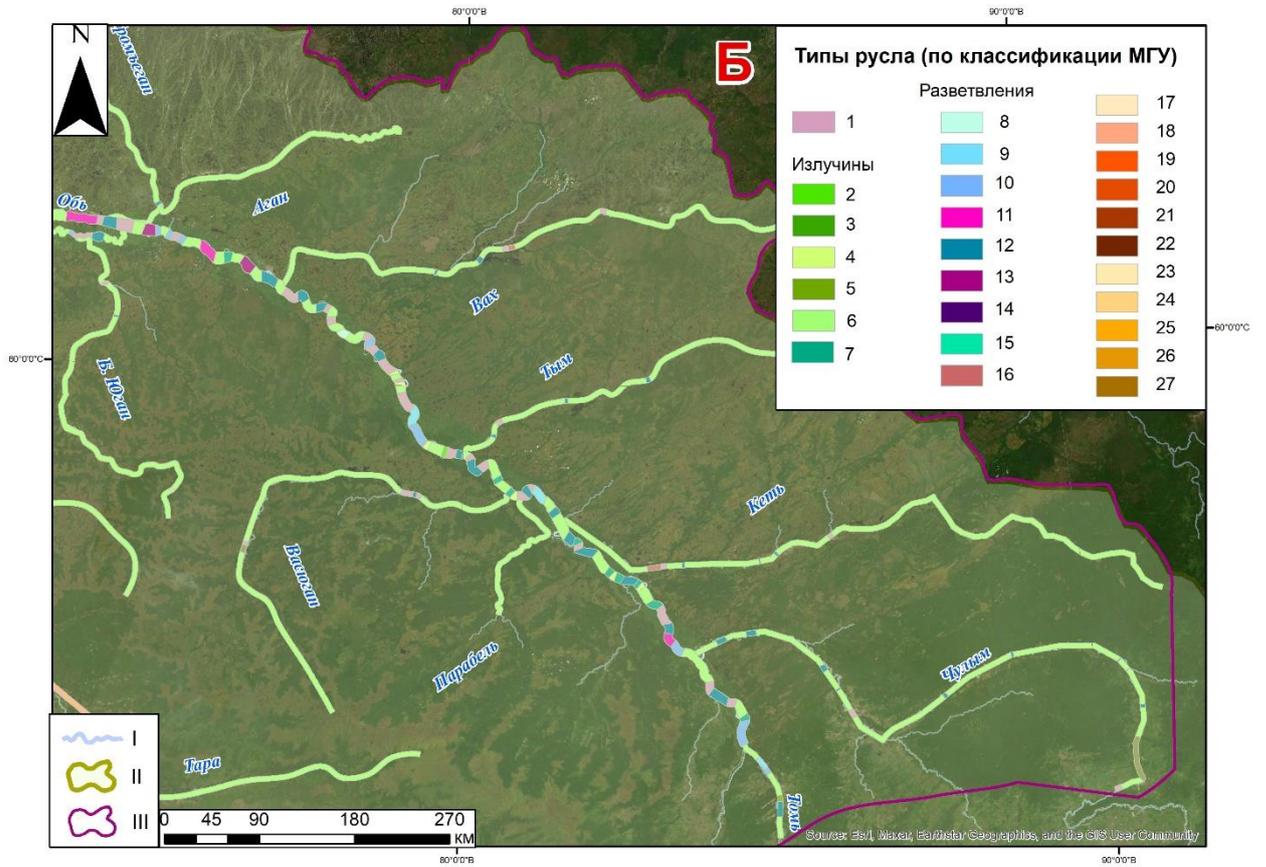
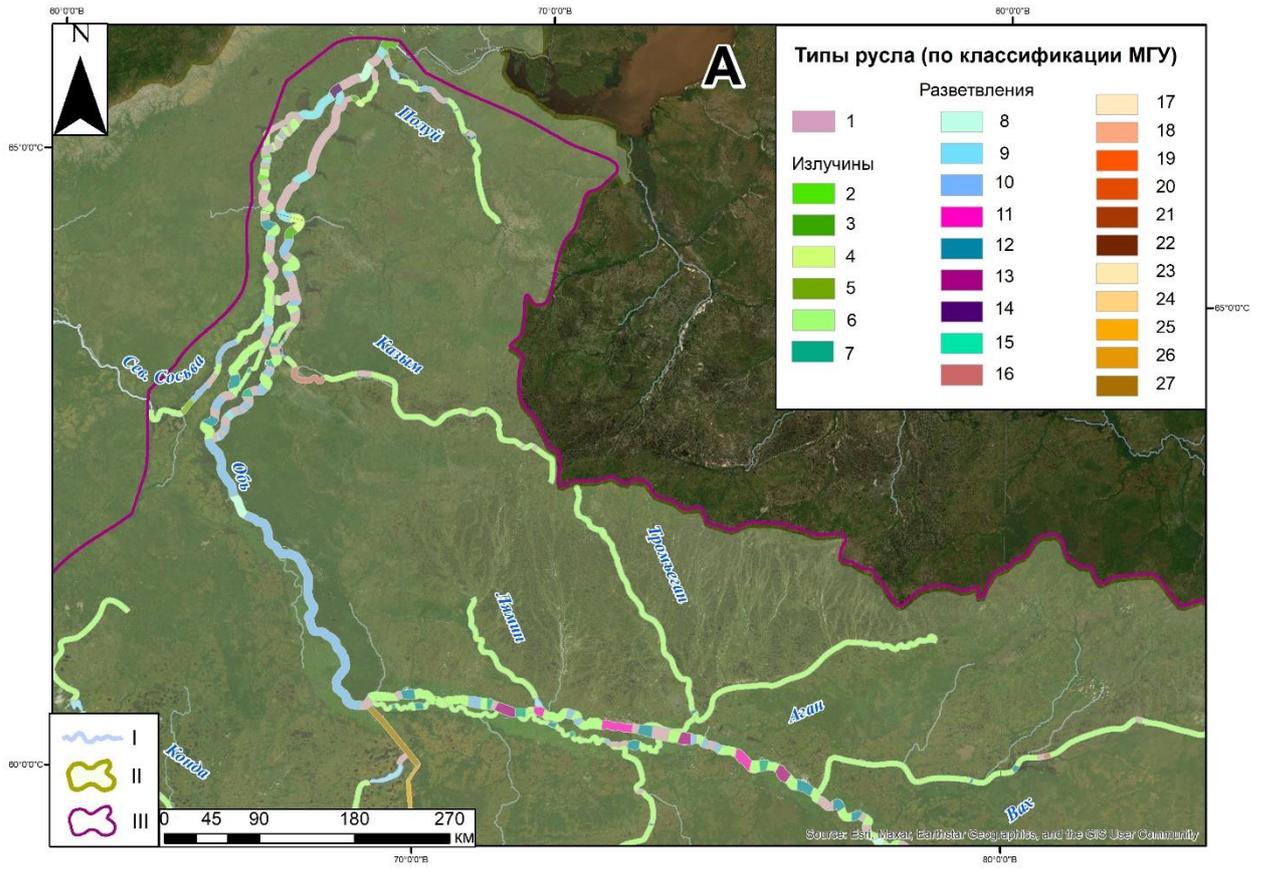
Помимо этого, по снимкам и картам уточнялись морфология берегов, высота поймы и ее рельеф, условия затопляемости и слива воды с поймы, если работы были в половодье, что было необходимо для полного анализа закономерностей развития и распространения размыва берегов на реках Обь-Иртышского бассейна.

Глава 4. Гидролого-морфодинамическая характеристика русел рек бассейна

4.1. Морфодинамические типы русла и их распространение на реках бассейна

Для русел рек Обь-Иртышского бассейна характерно большое разнообразие морфодинамических типов и особенности их распространения на реках (рисунок 4.1.1, 4.1.2).





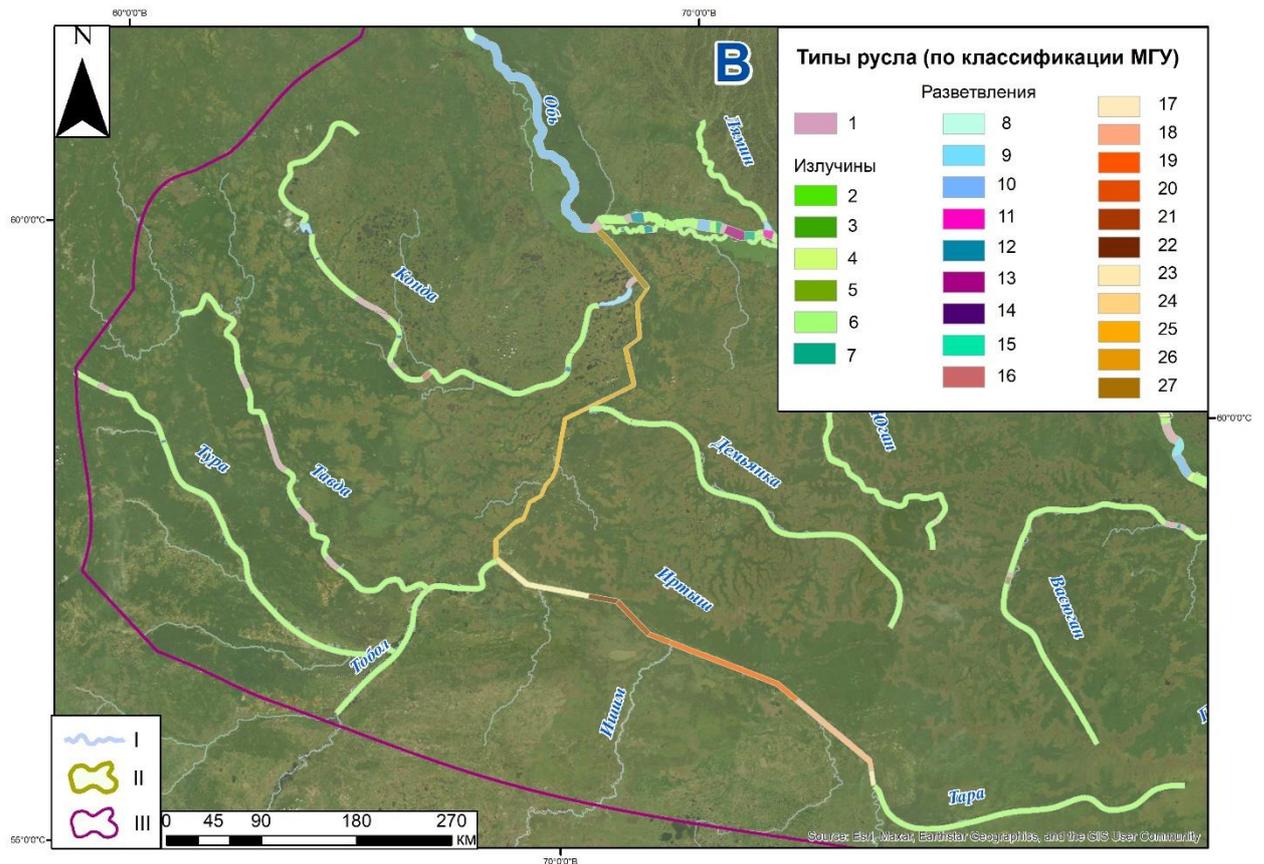


Рисунок 4.1.1 – Типы русла на реках Обь-Иртышского бассейна (составлено автором): 1 – относительно прямолинейное, неразветвленное русло; излучины: 2 – вынужденные, 3 – обтекающие, 4 – вписанные, 5 – адаптированные (морфологически однородные участки на реках кроме Оби, включающие вынужденные, обтекающие и собственно адаптированные излучины), 6 – свободные, 7 – прорванные; разветвления: 8 – параллельно-рукавные, 9 – односторонние (в т.ч. чередующиеся), 10 – одиночные (в т.ч. чередующиеся), 11 – сопряженные, 12 – пойменно-русловые, 13 – сложные трехрукавные пойменно-русловые, 14 – дельтовые, 15 – разветвленно-извилистые, 16 – раздвоенные русла (на Кети, Вахе, Казыме и Конде); Иртыш: 17 – излучины разных структурных уровней морфологических типов, 18 – чередование прямолинейных участков и серий излучин, осложненных одиночными разветвлениями, 19 – серии излучин, чередующиеся с прямолинейными участками, осложненными одиночными и прибрежными разветвлениями, 20 – врезанные излучины, 21 – крутые и петлеобразные излучины, 22 – врезанные и адаптированные излучины, 23 – свободные и вынужденные излучины, осложненные одиночными и осередковыми разветвлениями, 24 – прямолинейное русло и излучины, 25 – вписанные, вынужденные и сундучные излучины, разделенные прямолинейными участками русла и одиночными разветвлениями, 26 – вынужденные, вписанные и свободные излучины с островами на крыльях и привершинных частях, чередующиеся с прямолинейными участками русла и одиночными разветвлениями, 27 – серии свободных излучин, осложненные островами в привершинных частях (таблицы 4.1.1, 4.1.2., 4.1.3, приложение 2). I – реки, II – граница Обь-Иртышского бассейна, III – граница лесной зоны в пределах равнинной части Обь-Иртышского бассейна, IV – врезки карты

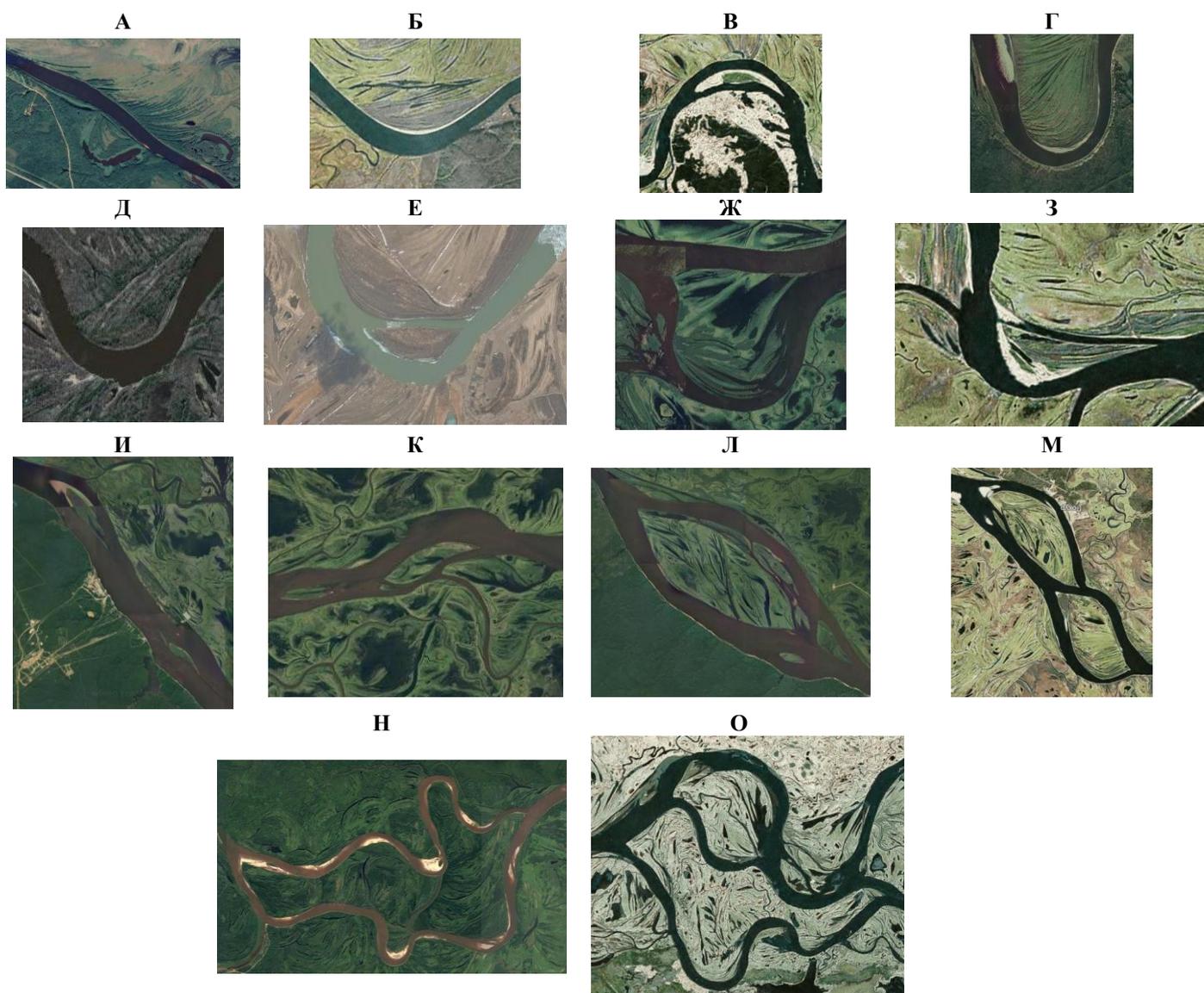


Рисунок 4.1.2 – Типы русла на реках Обь-Иртышского бассейна: А – относительно прямолинейное, неразветвленное русло (р. Тавда); излучины: Б – вынужденная (нижний Иртыш), В – обтекающая (нижний Иртыш), Г – вписанная (нижний Иртыш), Д – свободная (р. Чулым), Е – излучина с островом в привершинной части (нижний Иртыш), Ж – прорванная (средняя Обь); разветвления: З – разветвленно-извилистое (нижний Иртыш), И – параллельно-рукавное (нижняя Обь), К – одностороннее (Малая Обь), Л – одиночное (нижняя Обь), М – сопряженное (средняя Обь), Н – пойменно-русловое (р. Чулым), О – сложное трехрукавное пойменно-русловое (средняя Обь)

Обь (от устья р. Томи до г. Салехарда)

Для Оби характерны практически все встречающиеся морфодинамические типы широкопойменного русла на всех структурных уровнях (таблица 4.1.1). На средней Оби от слияния с р. Томью до впадения р. Ваха, где река течет в северо-западном направлении, ширина поймы колеблется от 20-25 до 30 км. Треть длины русла средней Оби (35 %) представлено свободными излучинами, около 21 % приходится на пойменно-русловые разветвления, формирующиеся там, где река переваливает от одного борта долины к другому; рукава этих разветвлений также меандрируют, образуя в каждом от 2 до 5 излучин; 17 % длины занимает относительно прямолинейное, неразветвленное русло. Остальные типы русла (вынужденные и вписанные излучины, разные виды русловых разветвлений) имеют протяженность не более 10 % от общей протяженности участка реки.

Ниже впадения р. Ваха река поворачивает на запад и течет в широтном направлении; днище долины (пойма и русло) расширяется максимум до 40 км. На этом участке Оби выше г. Сургута впервые появляется раздвоенное русло – разделение реки на два рукава, проходящих в левой и правой частях днища долины вплоть до слияния с р. Иртышом на протяжении 352 км и имеющих соизмеримую водоносность и свой русловой режим: оно образовано правым более многоводным судоходным (основным) рукавом – собственно Обью, и системой следующих друг за другом левых рукавов – Юганской Обью, протоками Большой Салымской и Неулева. Протока Неулева самостоятельно впадает в Иртыш двумя рукавами (протока Неулевка и Тренькина) выше его слияния с правым основным рукавом Оби. Между устьем р. Ваха и ответвлением Юганской Оби встречаются пойменные протоки (ответвления), которые в прошлом, по-видимому, были частью раздвоенного русла, начинавшегося выше по течению по сравнению с современным, но в ходе переформирования оно деградировало, что привело к превращению верхней части в маловодные протоки и разделению большей части единого левого рукава раздвоенного русла на три звена – Юганскую Обь, Большую Салымскую протоку и протоку Неулева. Почти половина протяженности (44 %) основного рукава (собственно Оби) представлены свободными излучинами, значимая часть русла приходится на пойменно-русловые разветвления (21 %), среди которых почти половина – это их специфическая разновидность – сложные трехрукавные с рукавами, образующими крутые и петлеобразные излучины. Эти разветвления встречаются только на этом участке; они сформировались вследствие неоднократного спрямления излучин (образуются прорванные излучины) при сохранении функционирования старого русла и внутривпойменного «перехвата» при размыве пойменных перешейков между основным руслом и пойменными протоками или рукавами раздвоенного русла [Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 2021]. Такую же долю имеют

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|---|------|
| Малая Обь (ниже протоки Большой Нюрик) | 27,2 | 37,6 | - | 2,65 | - | - | - | 20,3 | 2,47 | - | 5,48 | - | 4,24 |
| Большая Обь | 48,4 | 7,14 | 7,94 | - | 5,56 | - | - | 17,9 | 9,92 | - | - | - | 3,17 |
| Обь ниже слияния Большой и Малой Оби | 43,3 | - | - | - | - | - | 31,7 | 16,7 | - | - | - | - | 8,3 |
| Игорская Обь | 40,3 | 43,3 | 4,48 | - | 11,9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Сомутнельская протока | 90,0 | - | - | - | - | 10,0 | - | - | - | - | - | - | - |
| Тоготская Обь | - | 85,9 | - | - | - | 4,69 | - | - | 9,38 | - | - | - | - |
| Малая Горная Обь | 65,5 | 34,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

ОПНР – относительно прямолинейное неразветвленное русло; излуины: св. – свободные, вп. – вписанные, вын. – вынужденные, обт. – обтекающие, прорв. – прорванные; разветвления: пар.-рук. – параллельно-рукавные, одн. – односторонние, один. – одиночные, сопр. – сопряженные, пойм.-рус. – пойменно-русловые, слож. трехрук. пойм.-рус. – сложные трехрукавные пойменно-русловые, «дел.» - дельтовые

некоторые русловые разветвления (сопряженные и одиночные) и относительно прямолинейное, неразветвленное русло (до 10 %). Левые рукава (Юганская Обь, протоки Большая Салымская и Неулева) преимущественно меандрируют (от 75 до 100 %), но встречаются иногда пойменно-русловые разветвления или прямолинейные участки.

Ниже слияния с р. Иртышом русло Оби поворачивает в северо-северо-западном направлении, протекая вдоль правого коренного берега – Белогорского «материка», являющегося западной оконечностью Сибирских увалов. Это обуславливает развитие односторонней левобережной поймы, ширина которой в некоторых местах сужается до 10 км. В связи с этим весь этот участок нижней Оби на протяжении 330 км представляет собой морфологически однородный участок – одиночные разветвления, разделенные «вставками» прямолинейного русла, одним осередковым и параллельно-рукавным разветвлением.

Ниже с. Перегрёбного (830 км от устья) Обь меняет свое направление на северное, где вновь появляется раздвоенное русло, которое имеет бóльшую протяженность (480 км, почти до г. Салехарда), при очень широкой пойме в 40-50 км с максимумом в 60 км (выше устья р. Северная Сосьва) (рисунок 4.1.3) [Чалов, Камышев, Куракова и др, 2021].

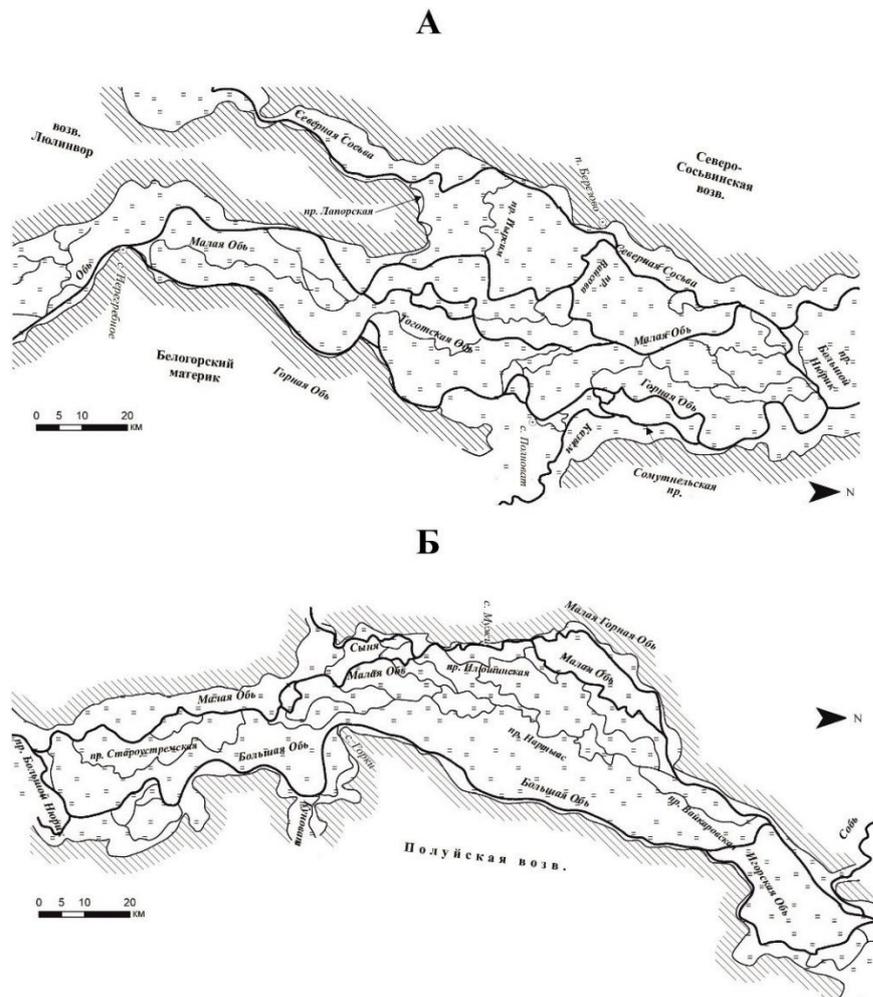


Рисунок 4.1.3 – Раздвоенное русло нижней Оби [Чалов, Куракова и др., 2022]

Нижняя Обь здесь разделяется на левый рукав (Малую Обь), находящийся преимущественно в пойменных берегах, и правый (Горная и Большая Обь), который проходит вдоль правого коренного берега за исключением коротких по протяженности отрезков: при впадении левого притока – р. Казым и ответвления рукавов вторичного раздвоения русла – Сомутнельской протоки и Игорской Оби, где появляется правобережная пойма. От главных рукавов раздвоенного русла отходят рукава вторичных раздвоений: на Малой Оби – Тоготская Обь, Малая Горная Обь, протоки Вайсова и Большой Нюрик, на Горной Оби – Сомутнельская протока, на Большой Оби – Игорская Обь [Чалов, Завадский, Камышев, Куракова и др., 2021]. Рукава вторичных раздвоений в основном либо меандрируют (от 20 до 86 % длины рукава), либо имеют прямолинейное русло (от 40 до 90 % их общей протяженности). Рукава раздвоенного русла как на средней, так и на нижней Оби связаны между собой длинными многочисленными сравнительно маловодными преимущественно меандрирующими (до 100 %) пойменными протоками.

Каждый из рукавов вторичных раздвоений русла забирает значительную часть стока воды из основного русла, что приводит в главном рукаве к изменению его морфологических параметров и режима русловых переформирований. На Малой Оби, выше ответвления протоки Большой Нюрик (рисунок 4.3.1 А), абсолютно преобладают излучины русла (53,6 %), причем из-за снижения общего расхода воды (в основном из-за ответвления Тоготской Оби – 60% стока) их параметры по длине Малой Оби существенно сокращаются и меандрирование приобретает специфические особенности, русло сужается и мелеет; ниже слияния с Тоготской Обью и до протоки Большой Нюрик – преобладают русловые разветвления (односторонние и одиночные).

Раздвоенное русло нижней Оби можно разделить на два участка – верхний и нижний, граница между которыми проходит по квазипоперечному рукаву – протоке Большой Нюрик, перераспределяющей сток воды между левым и правым рукавами. В целом на Малой Оби (от захода в нее и до слияния с Большой Обью) русло в основном меандрирующее, доля которого к ее устью снижается (с 54 до 38 %), но при этом излучины образуют целые серии (ниже захода в Малую Горную Обь), а относительная протяженность прямолинейного неразветвленного русла, наоборот, возрастает – с 17 до 27 %. На Малой Оби (от захода в нее и до протоки Большой Нюрик) встречаются пойменно-русловые разветвления (15 % от протяженности ее русла), которые образовывались при размыве пойменной перемычки между руслом реки и пойменными протоками, вследствие чего последняя превращается в левый рукав разветвления. В нижней части на Малой Оби (от протоки Большой Нюрик до слияния с Большой Обью) часто встречаются одиночные разветвления – 20 % длины ее русла. На Горной Оби, испытывающей влияние коренных

берегов – Белогорский «материк», треть ее длины приходится на свободные излуины (35 %), доля которых на Большой Оби, проходящей затем вдоль Полуийской возвышенности, составляет всего 7 %. Относительно прямолинейное неразветвленное русло, наоборот, возрастает в два раза – с 24 до 48 %, причем значительную часть протяженности русла Горной и Большой Оби составляют одиночные разветвления – 24 и 18 %, соответственно [Чалов, Завадский, Камышев, Куракова и др., 2021].

Ниже слияния Малой и Большой Оби ширина дна долины уменьшается до 15 км, а у г. Салехарда – до 10 км; ширина «объединенного» русла, наоборот, увеличилась в 3 раза – с 1,8 до 6 км. Основным по распространению морфодинамическим типом русла становится здесь прямолинейное (43 %); параллельно-рукавные и односторонние разветвления занимают, соответственно, 32 и 17 %.

Уменьшение доли излучин русла вниз по течению Оби (на нижней Оби излуины только в рукавах раздвоенного русла) обусловлено увеличением ее водоносности и ширины русла, что приводит к разделению динамической оси потока на две-три или более ветви, что, в свою очередь, обуславливает формирование разветвленных или прямолинейных русел [Великанов, 1958; Карасев, 1975]. Но привешенные части и крылья излуин средней и нижней Оби осложнены островами.

Иртыш (от устья р. Тары до слияния с р. Обью)

На нижнем Иртыше русло преимущественно широкопойменное; только на двух небольших по протяженности участках, где река проходит через Старо-солдатский пояс валов, оно становится врезанным [Ростовцев, 1958]. Ширина поймы изменяется от 6 км в створе устья р. Тары до 12 км перед слиянием с р. Тоболом, периодически сужаясь и расширяясь по длине реки. Ниже пойма Иртыша сужается до 5 км при подходе к коренному берегу, при отходе от него – расширяется сначала до 10-15 км, а затем до 20 км, объединяясь в низовьях (ниже г. Ханты-Мансийска) с поймой Оби.

Иртыш на субширотном участке (от устья Тары до слияния с Тоболом) в основном образует свободные излуины, на которые на его различных участках приходится от 21,2 до 61,8 % их суммарной длины (таблица 4.1.2). Исключение составляют врезанные участки русла, где абсолютно преобладают в основном врезанные, реже – вынужденные или адаптированные излуины (в сумме – 73,8 и 77 % протяженности). Сундучные (трапециевидные), вписанные, вынужденные, адаптированные и обтекающие излуины, формируясь при подходе реки к коренному берегу, обычно занимают около трети длины морфологически однородных участков Иртыша (см. таблица 4.1.2). На участке встречается две прорванные излуины со спрямляющим рукавом (≈ 5 % длины от участков).

Таблица 4.1.2 – Распространение морфодинамических типов на нижнем Иртыше

| Участок | Типы русла, % | | | | | | |
|---|---------------|-----------|--|------------|--------------------------|---------------|-----------|
| | ОПНР | Излучины | | | Разветвления | | |
| | | Свободные | Сундучные, врезанные, вписанные, обтекающие и адаптированные излучины | Прорванные | Параллельно- рукавное | Одностороннее | Одиночное |
| устье р. Тары – п. Атак | 8,6 | 44,3 | 31,4 | - | - | - | 15,7 |
| п. Атак – п. Таборы | 40,0 | 21,2 | 30,6 | - | - | 4,7 | 3,2 |
| п. Таборы – устье р. Ишима | 23,2 | 29,7 | 37,4 | 5,0 | - | - | 4,7 |
| устье р. Ишима – п. Борки | 23,0 | | 77,0 | - | - | - | - |
| п. Борки – гора Еланская | 9,9 | 61,8 | 28,3 | - | - | - | - |
| гора Еланская – н.п. Курья | 20,6 | | 73,8 | - | - | - | 5,6 |
| н.п. Курья – п. Абалак | 12,6 | 42,9 | 36,8 | 5,8 | - | - | 1,9 |
| н.п. Абалак – устье р. Тобола | 46 | 39,7 | 14,3 | - | - | - | - |
| устье р. Тобола – устье р. Демьянки | 18,4 | 36,9 | 34,3 | 2,4 | - | 1,7 | 6,3 |
| устье р. Демьянки – устье р. Конда | 26,3 | 27,0 | 22,9 | 1,9 | 3,2 | 5,8 | 12,9 |
| устье р. Конды – устье | 24,5 | 57,7 | 12,5 | - | - | - | 5,3 |

ОПНР – относительно прямолинейное неразветвленное русло

Серии излучин разделяются участками с прямолинейным руслом, доля которых варьирует в широких пределах – от 8,6 до 40 % длины морфологически однородных участков Иртыша, а также русловыми разветвлениями, среди которых преобладают одиночные, занимающие от 1,9 до 15,7 % длины.

Иртыш (от слияния с р. Тоболом до устья) характеризуется также преимущественным распространением извилистого (меандрирующего) русла, где на фоне увеличения ширины дна долины (пойма+русло) и уменьшения влияния коренного берега доля свободных излучин возрастает к устью (с 36,9 и 27,0 до 57,7 % суммарной длины), тогда как сундучные, вписанные и вынужденные излучины, наоборот, встречаются реже (их доля уменьшается с 34,3 до 12,5 %). На прямолинейное русло, разделяющее серии излучин приходится обычно около четверти длины морфологически однородного участка Иртыша (от 18,4 до 26,3 %). Только 10,1 % длины всего участка Иртыша ниже слияния с Тоболом приходится на разветвления, среди которых абсолютно преобладают одиночные разветвления (их доля по участкам колеблется от 5,3 до 12,9 %); на односторонние и параллельно-рукавные разветвления приходится не более 5,8 % длины.

На участках с относительно суженной поймой и влиянием коренных берегов река образует «большие» сегментные и петлеобразные излучины, касающиеся последовательно своими вершинами противоположных бортов долины, или формирующие вынужденные, вписанные и сундучные (трапециевидные) излучины; последние, по-существу, состоят из трех частей: верхней – вынужденной излучины при подходе русла к коренному берегу, средней – прямолинейным участком вдоль коренного берега, нижней – адаптированной излучины с верхним крылом вдоль борта долины [Куракова, Чалов, 2022].

Русловые разветвления (одиночные, односторонние и параллельно-рукавные) на Иртыше встречаются редко; в основном здесь они образуются островами, осложняющими крылья и привершинные части излучин русла. Важную роль в развитии излучин, формировании островов на них или развитии спрямляющих протоков у прорванных излучин через их шпору играют выступы (мысы) коренного берега, направляющие водный поток либо в образовавшийся спрямляющий рукав прорванной излучины, либо обуславливают своим воздействием формирование выбоин в противоположных берегах, в которых происходит аккумуляция осередков, а при их зарастании – островов. Иногда петлеобразные излучины Иртыша при достижении критических значений и встречном размыве на их крыльях спрямляются, как это произошло на Укинской петлеобразной излучине (510-498 км) в 2019 г [Куракова, Чалов, 2022].

Остальные реки Обь-Иртышского бассейна

Для большинства рек Обь-Иртышского бассейна ширина дна долины (пойма+русло) изменяется в широком диапазоне от 1-2 км до 10-15 км, периодически сужаясь и расширяясь по длине реки. На притоках Оби и Иртыша ширина поймы преимущественно увеличивается к устью, на некоторых из них (Северная Сосьва, Кеть, Большой Юган, Конда и др.) она становится общей с поймой главной реки. Северная Сосьва, Казым, Большой Юган и Тромъеган соединяются с рукавами раздвоенного русла Оби, становятся их частью, в результате чего рукава сопоставимы по водоносности с основным руслом Оби, становясь в этих условиях рукавом раздвоенного русла. Подавляющее число средних и крупных рек Обь-Иртышского бассейна свободно меандрируют (таблица 4.1.3): от 54 до 100 % длины их участков занимают излучины, на большинстве – более 80 %. При подходе к бортам долины, сложенным относительно трудноразмываемыми грунтами, русло образует вынужденные, вписанные и адаптированные излучины, которые встречаются либо локально, либо образуют небольшие по протяженности участки вдоль коренного берега (от 1 до 10 % от длины реки).

На относительно прямолинейные, неразветвленные участки русла, соответствующие обычно относительно суженным участкам долины или разделяющие протяженные участки с меандрирующим (извилистым руслом), приходятся первые проценты (не более 9 %) общей протяженности рек.

Русловые разветвления (одионочные и односторонние) встречаются редко (в основном в местных расширениях русла), за исключением больших рек – Томи, Полуя и Северной Сосьвы, на которых они образуют морфологически однородные участки, достигая на последней до 30 % от протяженности ее равнинной части. Другой тип разветвлений, образующийся крайне редко (1-2 % от длины) на реках Обь-Иртышского бассейна (кроме Оби и Иртыша), – пойменно-русловые. Обычно они приурочены к нижнему течению рек, где в половодье происходит глубокое затопление поймы, происходит активное взаимодействие пойменного и руслового потоков, а сама река переваливает от одного борта долины к другому. Характерно, что не только на Оби, но и на Конде, Вахе, Казыме и Кети встречаются участки раздвоенного русла, занимающие от 1-2 до 10 % длины рек. Они приурочены к резким расширениям дна долины этих рек ($B_{п}/b_{р}$ увеличивается в 1,5-3 раза); каждый из рукавов, образуя серии излучин, характеризуется своими особенностями русловых переформирований.

Таблица 4.1.3 – Морфодинамические типы русла больших и средних рек Обь-Иртышского бассейна

| Река | Типы русла, % | | | | | | |
|-----------------|---------------------|-----------|---|---------------|-----------|-------------------|-------------|
| | Прямолинейное русло | Излучины | | Разветвления | | | |
| | | Свободные | Адаптированные (вынужденные, вписанные, сундучные) | Односторонние | Одиночные | Пойменно-русловые | Раздвоенные |
| Томь | - | 62,5 | 5,0 | 10,3 | 4,6 | 17,6 | - |
| Чулым | 1,5 | 86,6 | 5,7 | - | - | 6,2 | - |
| Кеть | 1,1 | 95,4 | - | - | - | 1,4 | 2,1 |
| Тым | 1,2 | 96,4 | - | - | - | 2,4 | - |
| Вах | 1,3 | 96,1 | - | - | - | 1,4 | 1,1 |
| Тромъеган | - | 98,9 | - | - | - | 1,1 | - |
| Аган | - | 100 | - | - | - | - | - |
| Лямин | - | 100 | - | - | - | - | - |
| Казым | 4,1 | 85,1 | - | - | - | - | 10,8 |
| Полуй | 9,0 | 83,1 | 1,1 | - | 4,0 | 2,8 | - |
| Парабель | - | 100 | - | - | - | - | - |
| Васюган | 3,0 | 94,3 | 1,5 | - | - | 1,2 | - |
| Большой Юган | 0,5 | 98,9 | - | - | - | 0,6 | - |
| Северная Сосьва | 7,0 | 53,5 | 10,0 | - | 29,5 | - | - |
| Тара | - | 100 | - | - | - | - | - |
| Демьянка | - | 100 | - | - | - | - | - |
| Тобол | - | 100 | - | - | - | - | - |
| Тура | 2,4 | 97,1 | - | - | - | 0,5 | - |
| Тавда | 15,7 | 84,3 | - | - | - | - | - |
| Конда | 7,8 | 89,4 | - | - | - | 1,6 | 1,2 |

4.2. Рассредоточение стока в разветвлениях русла

Обь (от устья р. Томи до г. Салехарда)

На широтном участке средней Оби (ниже устья р. Ваха) раздвоенное русло характеризуется рассредоточением стока по двум основным рукавам и многочисленным протокам (ответвлениям), расчленяющим широкую пойму и осуществляющих гидравлическую связь между основными рукавами. Это приводит к тому, что последовательного нарастания расходов воды основных рукавов вниз по течению не происходит. Увеличение степени рассредоточенности стока между рукавами раздвоенного русла и пойменными протоками происходит на фоне глубокого затопления поймы: по данным Н.Б. Барышникова [1988, 2012], в пойму средней Оби у г. Сургута при ее затоплении (и, очевидно, отвлечения части стока в левый рукав – Юганскую Обь – 19 % (таблица 4.2.1) и пойменные протоки) уходит 58,5 % ее стока. В связи с тем, что в половодье пойма Оби превращается в обширное затопленное пространство, эта величина, скорее всего, отражает общий отток воды из русла, включающий до 20 % от общего расхода в пойменных протоках (ответвлениях); следовательно, на поверхности самой поймы сосредотачивается около 20 % суммарного стока реки.

Таблица 4.2.1 – Рассредоточение стока воды в основных рукавах раздвоенного русла средней и нижней Оби в половодье

| Рукава | Q _{пол} , м ³ /с | Q _{пол} , % | |
|---|--------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| | | от Оби | от Малой, Горной или Большой Оби |
| <i>разветвление Оби и Юганской Оби</i> | | | |
| Обь | 13108 | 81 | - |
| Юганская Обь | 3012 | 19 | - |
| <i>слияние Оби и Юганской Оби</i> | | | |
| Обь | 10217 | 60 | - |
| Юганская Обь | 6688 | 40 | - |
| <i>разветвление Оби и Большой Салымской протоки</i> | | | |
| Обь | 12560 | 69 | - |
| Большая Салымская | 5504 | 31 | - |
| <i>слияние Оби и Большой Салымской протоки</i> | | | |
| Обь | 9205 | 51 | - |
| Большая Салымская | 6064 | 33 | - |
| <i>разветвление Оби и протоки Неулева</i> | | | |
| Обь | 8848 | 49 | - |
| Неулева | 3631 | 20 | - |
| <i>разветвление Малой и Горной Оби</i> | | | |
| Малая Обь | 15044 | 64 | 100 |
| Горная Обь | 8412 | 36 | 100 |

| <i>разветвление Малой Оби и протоки Большой Нюрик</i> | | | |
|---|-------|----|-----|
| Малая Обь | 8403 | 36 | 59 |
| Большой Нюрик | 5048 | 22 | 41 |
| <i>слияние Горной Оби и протоки Большой Нюрик – Большая Обь</i> | | | |
| Большой Нюрик | 12566 | 54 | 71 |
| Горная Обь | 5205 | 22 | 29 |
| Большая Обь | 17771 | 76 | 100 |
| <i>слияние Малой и Большой Оби</i> | | | |
| Малая Обь | 9822 | 35 | 35 |
| Большая Обь | 17859 | 65 | 65 |

В раздвоенном русле средней Оби основной рукав – правый (до 70 % общего расхода воды в реке в половодье). Левые рукава раздвоенного русла – Юганская Обь, протоки Большая Салымская и Неулёва – образуют единую систему. Их доля стока изменяется от 19 (на заходе в них) до 40 % (в устье) в период весеннего половодья (см. таблица 4.2.1). Водоносность средней Оби на этом участке изменяется незначительно за счет впадения сравнительно небольших рек в правый рукав раздвоенного русла (собственно Обь), среди которых выделяются – Вах, Тромьёган, Пим, Лямин, Назым. Слева в Юганскую Обь и Большую Салымскую протоку впадают Большой Юган и Большой Салым [Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 2021].

Ниже слияния с р. Иртышом расход воды нижней Оби возрастает почти в два раза. Русло реки проходит вдоль правого коренного берега на протяжении 350 км, образуя серию одиночных разветвлений.

Ниже с. Перегрёбного происходит резкое расширение поймы (в 2 раза и более), вновь обуславливая формирование раздвоенного русла. В узле разделения рукавов левый – Малая Обь забирает 64 % общего расхода воды в половодье; сток правого – Горной Оби, почти на всем протяжении располагающийся вдоль правого высокого коренного берега – Белогорского «материка», в период половодья составляет 36% от общего расхода нижней Оби (см. таблица 4.2.1). Сток Малой Оби рассредотачивается по рукавам «вторичных» раздвоений – Тоготской Оби (60 % от Малой Оби) и протоке Вайсова (67 % от Малой Оби в половодье) и многочисленным пойменным протокам, среди которых выделяются две очень крупные, Лапорская и Пырсим, забирающие из Малой Оби в половодье, соответственно, 19 и 10 % и впадающие, пересекая левобережную пойму, в р. Северную Сосьву (таблица 4.2.2). В результате водоносность Малой Оби сокращается вниз по течению более, чем в 10 раз, составляя всего 5 % от общего расхода воды в Оби во время половодья. После слияния с Тоготской Обью и р. Северной Сосьвой суммарный расход воды Малой Оби практически восстанавливается. Однако ниже по течению протока Большой Нюрик забирает из нее весьма значительную часть расхода воды (41% от общего

расхода воды Малой Оби). Пересекая поперек пойму Оби, протока Большой Нюрик собирает воды из ряда пойменных проток и непосредственно стекающую с самой поймы. В результате водоносность протоки Большой Нюрик возрастает от захода в нее из Малой Оби к слиянию с Горной Обью более, чем в 2 раза, составляя от общего расхода воды в нижней Оби 54%.

Расход воды Горной Оби в отличие от Малой Оби практически не изменяется по длине рукава. Исключение составляет ее нижнее течение, где при расширении днища долины в районе устья р. Казыма и появлении правобережной поймы, вправо от Горной Оби отходит Сомутнельская протока, образующая вторичное раздвоение русла (доля расхода в ней от Горной Оби – 53%), и принимающая р. Казым [Чалов, Камышев, Куракова и др., 2021].

Таблица 4.2.2 – Рассредоточение стока воды во вторичных рукавах раздвоенного русла нижней Оби в половодье

| Рукава, пойменные протоки, притоки | $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | $Q, \%$ | |
|--|---------------------------|---------|-------------------------------------|
| | | от Оби | от Малой, Горной или Большой Оби |
| Малая Обь | | | |
| <i>заход в Малую Обь – разделение Малой и Тоготской Оби</i> | | | |
| Малая Обь | 5595 | 24 | 40 |
| Тоготская Обь | 8364 | 36 | 60 |
| <i>разделение Малой и Тоготской Оби – заход в протоку Пырсим</i> | | | |
| Лапорская | 1153 | 5 | 19 |
| Пырсим | 435 | 2 | 10 |
| <i>заход в протоку Пырсим – разделение Малой Оби и протоки Вайсова</i> | | | |
| Вайсова | 2490 | 11 | 67 |
| Малая Обь | 1213 | 5 | 33 |
| <i>разделение Малой Оби и протоки Вайсова – слияние Малой и Тоготской Оби</i> | | | |
| Малая Обь | 2029 | 9 | 23 |
| Тоготская Обь | 6747 | 29 | 77 |
| <i>слияние Малой и Тоготской Оби – слияние Малой Оби и р. Северной Сосьвы</i> | | | |
| Малая Обь | 7224 | 31 | 52 |
| р. Северная Сосьва | 6652 | 28 | 48 |
| <i>слияние Малой Оби и р. Северной Сосьвы – разделение Малой Оби и протоки Большой Нюрик</i> | | | |
| Малая Обь | 8403 | 36 | 59 |
| Большой Нюрик | 5048 | 22 | 41 |
| <i>Разделение Малой и Малой Горной Оби</i> | | | |
| Малая Обь | 3525 | 13 | 68 |
| Малая Горная Обь | 1671 | 6 | 32 |
| <i>слияние Малой и Малой Горной Оби</i> | | | |
| Малая Обь | 4124 | 15 | 60 |
| Малая Горная Обь | 2759 | 10 | 40 |

| Горная и Большая Обь | | | |
|---|-------|----|----|
| <i>заход в Горную Обь – разделение Горной Оби и Сомутнельской протоки</i> | | | |
| Горная Обь | 3517 | 15 | 58 |
| Сомутнельская | 2568 | 11 | 42 |
| р. Казым | 1651 | 7 | 20 |
| <i>между разделением и слиянием Горной Оби и Сомутнельской протоки</i> | | | |
| Горная Обь | 3754 | 16 | 47 |
| Сомутнельская | 4219 | 18 | 53 |
| <i>разделение Большой и Игорской Оби</i> | | | |
| Большая Обь | 17859 | 65 | 81 |
| Игорская Обь | 4214 | 15 | 19 |

Ниже отхода от Малой Оби протоки Большой Нюрик сток первой составляет 35% от общего расхода Оби в половодье. Правый рукав раздвоенного русла ниже слияния с протокой Большой Нюрик, меняющий свое название на Большую Обь, имеет 65% стока реки в половодье (см. таблица 4.2.1). От Малой Оби там, где ширина днища долины увеличивается до 50 км (в створе п. Мужы), а левый ее борт (Приуральская возвышенность) отступает от реки, ответвляется влево Малая Горная Обь, забирающая из нее 32% суммарного расхода воды (таблица 4.2.2). Всего же с оттоком воды в многочисленные пойменные протоки это приводит к снижению доли стока в ней по отношению ко всей реке до 13%.

Водоносность Большой Оби, как и Горной Оби, проходящих вдоль правого коренного берега (Белогорский «материк» и Полуйская возвышенность), выдержана по их длине, и лишь при слиянии с Малой Обью от нее ответвляется последний правый рукав раздвоенного русла – Игорская Обь (19 %) [Чалов, Завадский, Камышев, Куракова и др., 2021].

Для русловых разветвлений средней и нижней Оби характерны свои особенности рассредоточения стока воды по рукавам в зависимости от их типа и полученных на основе расчетов (таблица 4.2.3).

Таблица 4.2.3 – Диапазон изменений доли расхода воды в рукавах (о – основной, в – второстепенный; ст – старое русло, сп – спрямляющая протока; л – левый, ц – центральный, п – правый) разветвлений разного типа на средней и нижней Оби

| Участок Тип | Средняя Обь (устье Томи- устье Ваха) | Средняя Обь (устье Ваха- устье Иртыша) | Ниже устья р. Иртыша до с. Перегрёбного | Раздвоенное русло нижней Обь | | Ниже слияния Малой и Большой Оби – г. Салехард |
|---|--|--|---|---------------------------------|----------------------------|---|
| | | | | Малая Обь | Горная (Большая) Обь | |
| Разветвления на излучинах русла (о/в) | 52-93/ 7-48 | 72-95/ 5-28 | - | 55-92/ 8-45 | 71-95/ 5-29 | - |

| | | | | | | |
|--|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Прорванные излучины (ст/сп) | 19-37/ 63-81 | 24-53/ 47-76 | - | - | 55-69/ 31-45 | - |
| Параллельно-рукавные (о/в) | 53/47 | - | 54-69/ 31-46 | - | - | 50-67/ 33-50 |
| Односторонние (о/в) | 75-94/ 6-25 | - | - | 54-89/ 11-46 | 52-94/ 6-48 | 92/8 |
| Одиночные (о/в) | 56-95/ 5-44 | 63-76/ 24-37 | 50-91/ 9-50 | 54-77/ 23-46 | 58-74/ 26-42 | - |
| Сопряженные (о/в) | - | 53-86/ 14-47 | - | - | - | - |
| Пойменно-русловые (о/в) | 57-64/ 36-43 | 58-67/ 33-42 | - | 53-65/ 35-47 | - | - |
| Сложные трехрукавные пойменно-русловые (л/ц/п) | - | 16-23/ 14-48/ 30-67 | - | - | - | - |

На распределение стока по рукавам оказывают влияние: многолетние и сезонные колебания стока воды, переформирования русла (надвижение и отторжение побочней, спрямление излучин и др.), морфологические параметры рукавов, сопряжение разветвлений со смежными формами русла, влияние коренных берегов и их формы в плане и т.д.

Разветвления на излучинах русла

В разветвлениях средней Оби (от устья Томи до устья Ваха), образующихся в привершинных частях излучин или на их крыльях, сток может распределяться либо практически в равной степени (на основной рукав приходится от 52 до 64 % общего стока), либо заостровная протока маловодна (не более 13 % от общего стока реки) (см. таблица 4.2.3). На широтном участке средней Оби для таких разветвлений доля стока в главных рукавах возрастает – от 72 до 95 %. В рукавах раздвоенного русла (Малая и Горная Обь) заостровные протоки имеют долю от общего расхода воды преимущественно до 20 %, реже – до 30 % от общего стока. В редких случаях, когда острова образуются на очень крутых излучинах с нарушением безотрывного обтекания потоком берегов ($r < 3b_p$) и имеют сравнительно малые размеры, сток может распределяться практически в равной степени (55 и 45 %).

Прорванные излучины

Для прорванных излучин средней и нижней Оби отмечается направленный тренд на постепенное увеличение водности спрямляющих рукавов, которые впоследствии становятся основными с большими расходами воды (от 63 до 81 %), тогда как старый рукав либо сохраняет достаточную водность (до 37 %), либо со временем мелеет (до 19 %) (см. таблица 4.2.3). Как для широтного участка Оби, так и для правого раздвоенного русла

нижней Оби – Горной Оби – характерно функционирование обоих рукавов, сток в которых распределяется практически в равной мере (на спрямляющий рукав приходится от 43 до 47 % стока). На Горной Оби это обусловлено тем, что заходы в спрямляющие протоки, располагающиеся вдоль правого коренного берега, находятся под прямым углом, не позволяя большому количеству воды заходить в них. Помимо этого, выступы коренного берега выше по течению направляют поток в старое русло. Часто прорванные излучины осложнены островами, протоки за которыми маловодны и пересыхают в межень.

Параллельно-рукавные и односторонние разветвления

На средней и нижней Оби встречаются всего три коротких участка с параллельно-рукавными разветвлениями: выше устья Ваха (у с. Александровского), от устья Иртыша до с. Перегрёбного (Низямское) и от слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда (Птичье-Кишмель). Для всех них характерно либо равное распределение стока, либо с некоторым преобладанием одного из рукавов (не более 69 %) за счет поперечного перетока между островами (см. таблица 4.2.3).

В односторонних разветвлениях чаще всего основной рукав забирает от 75 до 94 % стока, и только в редких случаях (при направляющем воздействии мысов коренного берега) распределение стока во второстепенных рукавах может быть практически сопоставимо с главным (от 40 до 48 %) (см. таблица 4.2.3).

Одиночные и сопряженные разветвления

В одиночных разветвлениях Оби наблюдается широкий диапазон изменения расходов воды в рукавах. Сток между рукавами распределяется как 1:1 или 1:2, так и один из них забирает большую часть стока (от 71 до 95 %). Последнее может происходить при периодическом надвижении побочной на заход в них. Для одиночных разветвлений единого русла нижней Оби (от устья Иртыша до с. Перегрёбного), представляющих протяженный морфологически однородный участок, характерно сосредоточение большего расхода (от 50 до 91 %) в одном из рукавов, который находится либо вдоль коренного берега, либо под направляющим воздействием его; реже имеет место практически равное распределение стока воды в обоих рукавах (см. таблица 4.2.3).

Для всех сопряженных разветвлений, приуроченных к широтному участку средней Оби, сток воды распределяется по рукавам по правилу «восьмёрки». Расходы воды между ними соотносятся как 1:3, причем между звеньями (в узлах соединения рукавов) из одного многоводного рукава в другой перемещается от 53 до 86% расхода воды (см. таблица 4.2.3) [Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 2021].

На распределение стока в одиночных и сопряженных разветвлениях может влиять то, что один из рукавов может быть прямым продолжением прямолинейного русла или нижнего крыла смежной излучины, имеющей прямолинейные очертания.

Пойменно-русловые разветвления

Пойменно-русловые разветвления характеризуются либо практически равным распределением общего расхода, либо сосредоточиванием в основном рукаве $2/3$ стока (см. таблица 4.2.3). Это обусловлено, в первую очередь, сопряжением разветвления с формами русла на смежном сверху участке, которые оказывают направляющее воздействие на поток. Вместе с тем они характеризуются увеличением относительной водности (в многоводные годы или периоды лет) рукавов, образующих более пологий («длинный») перевал реки от одного борта долины к другому и, наоборот, более крутого («короткого») – в маловодные годы (или периоды лет). Это обуславливает относительное постоянство распределения между рукавами стока воды во времени. Различия могут возникать из-за неодинаковой длины рукавов и разной их извилистости, а также вследствие переформирований русла, которые могут привести к направленному за многолетний период перераспределению стока [Камышев и др., 2017].

В нижнем течении Оби пойменно-русловые разветвления характерны только для Малой Оби (рисунок 4.2.1), где их происхождение связано с размывом пойменной перемычки, отделявшей русло Малой Оби от текущих субпараллельно ей пойменных протоков, что приводит к уходу в нее до половины стока (до 46 %) и превращении их в рукава разветвлений (см. таблица 4.2.3) [Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 2021].

А



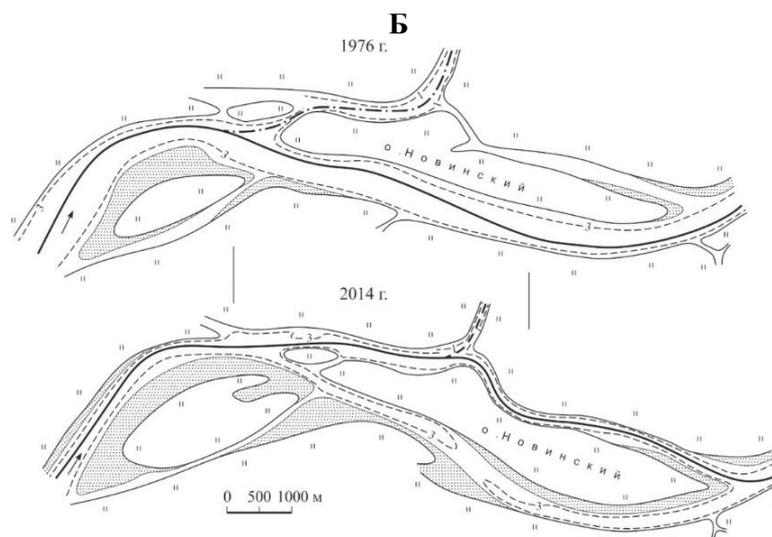


Рисунок 4.2.1 – Лапорско-Новинское пойменно-русловое разветвление (756,5-748 км): А – космоснимок, Б – планы русла за разные года

Особое положение в рассредоточении стока среди пойменно-русловых разветвлений занимают сложные трехрукавные разветвления. Они образовались вследствие неоднократного спрямления излучин и внутрипойменных «перехватов» стока из-за размыва пойменных перемычек между основным руслом и пойменными протоками. При этом сохраняется как функционирование старого русла, так и происходит развитие новых, бывших пойменных проток, рукавов. Распределение расходов воды по рукавам этих разветвлений неодинаково и зависит от их извилистости, стадии развития излучин рукавов, времени спрямления и образования прорванных излучин (см. таблица 4.2.3). Сток в таких сложных разветвлениях проходит в настоящее время преимущественно по центральным рукавам, второстепенные же могут как развиваться, так и отмирать. Изменение расходов воды в рукавах может также происходить путем перетока воды через поперечные протоки (до 50 %) [Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 2021].

Иртыш (от устья р. Тары до слияния с р. Обью)

Русло нижнего Иртыша (от устья р. Тары до устья) в основном меандрирует, но его излучины часто осложнены островами в их привершинных частях и на крыльях. Одним из основных факторов, оказывающих влияние на распределение стока по рукавам разветвлений нижнего Иртыша, является коренной берег, определяющий повороты реки и направляющее воздействие выступов (мысов) на поток. Это же обуславливает возникновение выбоин (вогнутостей) в конфигурации противоположных берегов, в которых формируются острова. На долю второстепенных (заостровных) проток приходится до 20 %, реже – 25-31 % общего расхода реки (таблица 4.2.4). Петлеобразные излучины Иртыша за счет встречного размыва берегов на их крыльях спрямляются, в образовавшийся

проран может уходить сначала до 2/3 стока (68 %), но затем старое русло отмирает, сохраняясь в виде пойменного озера или курьи (залива). При образовании прорванных излучин и функционировании обоих рукавов в спрямляющую протоку уходит либо 2/3 стока (67 %), либо практически весь (97-98 %), а бывшее основное русло постепенно отмирает или превращается в маловодную пойменную протоку.

Таблица 4.2.4 – Диапазон изменений относительных расходов воды в рукавах (о – основной, в – второстепенный; ст – старое русло, сп – спрямляющая протока) разветвлений разного типа на нижнем Иртыше и остальных реках Обь-Иртышского бассейна

| Тип | Участок | |
|---------------------------------|--------------|----------------|
| | нижний Иртыш | Остальные реки |
| На излучинах (о/в) | 69-96/4-31 | 50-90/10-50 |
| Спрямленные (ст/сп) | 68/32 | 85-100/0-15 |
| Прорванные (ст/сп) | 64-98/2-36 | 80-85/15-20 |
| Параллельно-рукавные (о/в) | 67/33 | - |
| Односторонние (о/в) | 75-94/6-25 | 70-90/10-30 |
| Одиночные (о/в) | 52-93/7-48 | 50-60/40-50 |
| Пойменно-русловые (о/в) | - | 50-80/20-50 |
| Раздвоенные (о/в) | - | 60-70/30-40 |
| Пойменная многорукавность (о/в) | - | 90/10 |

Одиночные разветвления характеризуются тем, что 2/3 стока и более концентрируется в основном рукаве, реже наблюдается соотношение 1:1 (см. таблица 4.2.4). В односторонних разветвлениях на второстепенные маловодные рукава приходится не больше 25 % общего расхода воды. В единственном на участке параллельно-рукавном разветвлении сток воды распределился 33 и 67 % в пользу левого рукава, относительный расход воды в котором увеличивается за счет перетока воды по межостровной протоке [Куракова, Чалов, 2022].

Остальные реки Обь-Иртышского бассейна

Русла рек бассейна преимущественно меандрируют; их излучины при спрямлении образуют старицы или прорванные излучины, в которых функционируют оба рукава. При этом спрямляющий рукав становится основным (до 80-85 % общего стока) и активно развивается, тогда как в старых руслах остается не более 15-20 % расхода воды (см. таблица 4.2.4), или они со временем отмирают. Нередко на излучинах, у которых $r < 3b_p$ (r – радиус кривизны излучины, b_p – ширина русла) и нарушено условие безотрывного обтекания потоком берегов (правило Миловича), встречаются острова, образующие разветвления в привершинной части, реже – на их крыльях. Рассредоточение стока в разветвлениях в

привершинной части излучин может быть либо практически равным (иногда спрямляющая протока у выпуклого берега может забирать до 75 % стока), либо заостровные протоки крайне маловодны (до 20 %).

На некоторых реках (Томи, Северной Сосьве и Полуе) в русловых разветвлениях сток распределяется либо в соотношении 1:1 в одиночных разветвлениях, либо сосредотачивается в одном из рукавов (от 70 до 90 %) односторонних разветвлений.

В пойменно-русловых разветвлениях, образующихся на перевале реки от одного борта ее долины к другому, расходы воды по рукавам рассредоточиваются в соотношении 1:1 или преимущественным сосредоточением в одном из них (до 80 %) [Ермакова, 2004; Сурков и др., 2018].

В раздвоенных руслах Кети, Ваха, Казыма и Конды доля расхода воды главного рукава в основном составляет 60-70 %, во втором – 30-40 %.

4.3. Гидролого-морфологический анализ русел рек бассейна

Каждая форма русла реки (излучина русла, излучины рукавов пойменно-русловых разветвлений или раздвоенного русла, рукава, огибающие острова в русловых разветвлениях) характеризуются морфологическими параметрами: l – длина по руслу, L – шаг, r – радиус кривизны, l/L – степень развитости, b_p – ширина русла и др. (рисунок 4.3.1). При этом рукава русловых разветвлений любого типа образуют излучины, рукава пойменно-русловых разветвлений и раздвоенных русел – серии излучин или морфологически однородные участки меандрирующего русла.

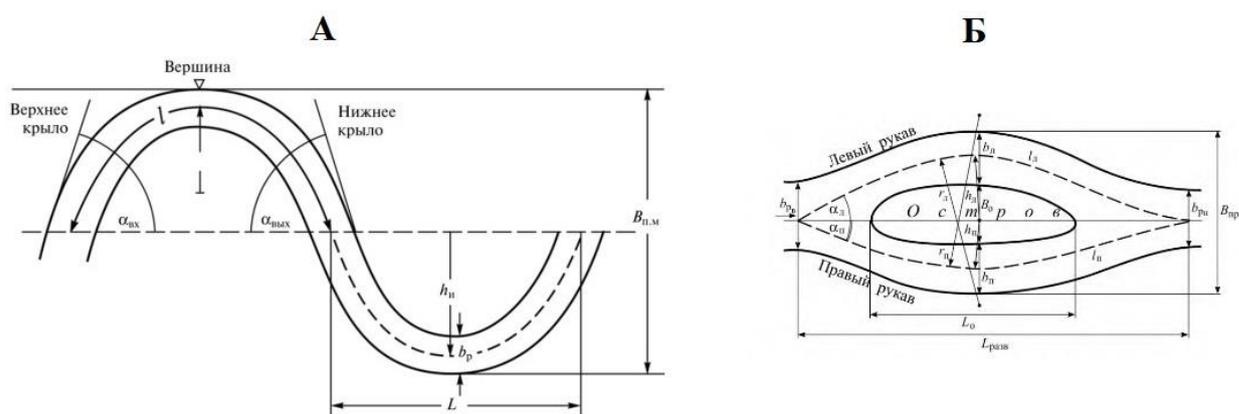


Рисунок 4.3.1 – Морфологические элементы и параметры излучин (А) и рукавов русловых разветвлений (Б) [Чалов, 2017а]

По форме в плане и соответственно смещению во времени Н.И. Маккавеев [1971] предложил выделять следующие типы излучин: сегментная, петлеобразная,

синусоидальная, заваленная и прорванная; в зависимости от степени развитости излучины являются пологими, развитыми или крутыми [Чалов и др, 2004]. Излучины рукавов, русловых разветвлений (огигающих острова) могут быть пологими или развитыми.

А.С. Завадский [2001] провел гидролого-морфологический анализ средних и больших меандрирующих рек Северной Евразии, в т.ч. Обь-Иртышского бассейна (среднего и нижнего Иртыша, Чулыма, Кети, Тыма, Васюгана, Конды, Агана и Тромъегана). Он показал, что параметры свободных излучин (радиус кривизны r , шаг L и стрела прогиба h) зависят от характеристик водного стока ($Q_{\text{ср}}$, $Q_{\text{макс}}$, Q_{30}), а также его внутригодового распределения, выраженного через соотношение $Q_{\text{ср}}/Q_{\text{макс}} = k$, где коэффициент k изменяется в зависимости от водного режима. В целом с увеличением водоносности рек вниз по течению их морфологические параметры, прежде всего, радиус кривизны r и шаг L возрастают. В то же время А.С. Завадский [1997], сравнивая параметры свободных излучин нижнего Иртыша с другими меандрирующими реками, но меньших размеров, в т.ч. с его средним течением, пришел к выводу об отсутствии на нем зависимости параметров излучин от характеристик водности, как и на других крупнейших реках (средний Амур, Обь, Хуанхэ и др).

Наибольшее распространение на Оби получили свободные пологие (рисунок 4.3.2) излучины русла, излучины рукавов пойменно-русловых и русловых разветвлений, преобладающие преимущественно в среднем течении, а также рукавов одиночных разветвлений на участке единого русла нижней Оби, проходящей вдоль правого коренного берега до с. Перегрёбного, и излучины рукавов раздвоенных русел. В последнем случае рукава в пойменных берегах и рукава, проходящие вдоль коренного берега, различаются по форме (вдоль трудно размываемого берега они обычно прямолинейные) и условиями захода в них, определяемыми конфигурацией коренного берега.

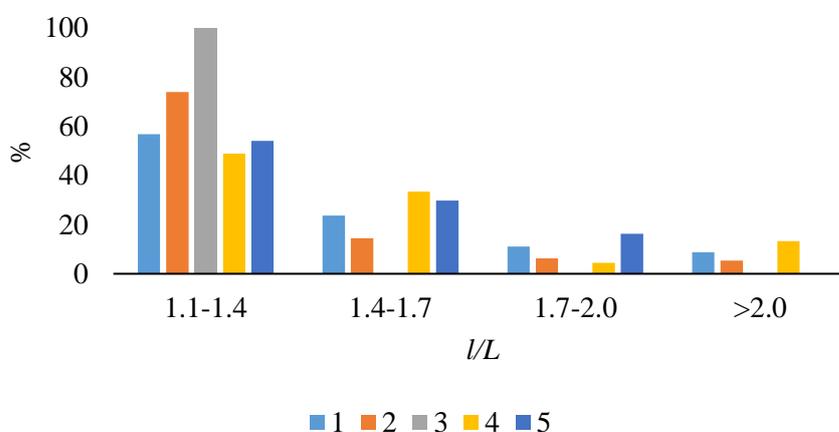


Рисунок 4.3.2 – Распределение форм русла по степени развитости на средней и нижней Оби: 1 – средняя Обь от слияния с Томью до устья Ваха, 2 – средняя Обь от устья Ваха до

устья Иртыша, 3 – нижняя Обь от слияния с Иртышом до с. Перегребного, 4 – нижняя Обь (с. Перегрёбное – протока Большой Нюрик), 5 - нижняя Обь (протока Большой Нюрик – слияние Малой и Большой Оби)

Вниз по течению происходит сокращение доли пологих ($l/L=1,1\div 1,4$) излучин (с 65 % в среднем течении до 55 % в нижнем), тогда как формы русла с $l/L=1,7\div 2,0$ становится больше (с 8,8 % на средней Оби против 9,8 % в ее нижнем течении). Это обусловлено тем, что излучины в нижнем течении встречаются исключительно в рукавах раздвоенного русла (преимущественно на Малой Оби), водоносность которых ниже по сравнению с вышерасположенными участками Оби. Излучины с $l/L>2,0$ приурочены в основном к среднему течению Оби. Они образованы как самим руслом, так и рукавами пойменно-русловых, в т.ч. сложных трехрукавных, разветвлений.

На средней Оби (от слияния с р. Томью до впадения р. Ваха) как основное русло, так и рукава разветвлений русла (одиночных, пойменно-русловых, спрямляющие в прорванных излучинах) представлены, в первую очередь, пологими излучинами ($l/L=1,1\div 1,4$). Развитые ($l/L=1,4\div 1,7$) и крутые ($l/L=1,7\div 2,0$) излучины характерны преимущественно для староречий прорванных излучин, реже – для главного русла или пойменно-русловых разветвлений. Излучины с $l/L>2,0$ встречаются реже и приурочены преимущественно к пойменно-русловым разветвлениям или прорванным излучинам. Направленного изменения параметров форм русла по длине средней Оби, несмотря на последовательное увеличение ее стока, не прослеживается, их средние значения колеблются в диапазонах: l/L – от 1,4 до 1,65, r – от 2,0 до 2,6 км, L – от 4,1 до 5,0 км. Различия проявляются между излучинами основного русла и излучинами рукавов в разветвлениях. В последних r и L меньше: средние – в 1,3 раза, минимальные – 2-3 раза, максимальные – 1,2-1,3 раза.

На широтном участке средней Оби между устьями рек Ваха и Иртыша морфометрические параметры форм русла в рукавах раздвоенного русла и выше него остаются практически неизменными. Это объясняется тем, что отвлечение части расхода воды (20-30 %) в левые рукава раздвоенного русла (Юганская Обь, протоки Большая Салымская и Неулева) равноценно стоку, который рассредотачивается по многочисленным протокам, расчленяющим широкую пойму, также в целом незначительным увеличением водоносности реки на всем широтном участке. Излучины с большой степенью развитости l/L встречаются только в пойменно-русловых, причем $l/L>2,0$ исключительно в сложных трехрукавных. Большинство излучин русла, рукавов раздвоенного русла и рукавов русловых (одиночных и сопряженных) разветвлений – пологие сегментные ($l/L=1,1\div 1,4$). Для радиусов кривизны r и шагов L характерно их уменьшение в рукавах разветвлений по

сравнению с правым, бóльшим по водоносности рукавом раздвоенного русла – собственно Обью: средние значения r уменьшаются с 3,6 до 2,2, L – с 5,3 до 3,8 [Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 2021].

Излучины русла левых (пойменных) рукавов одиночных разветвлений нижней Оби на участке от слияния с р. Иртышом до с. Перегрёбного характеризуются минимальной l/L ($< 1,2$) при наибольших L и r – до 16,3 и 8,5 км, соответственно. При этом радиус кривизны и шаг здесь значительно больше, чем для одиночных разветвлений на средней Оби, что объясняется увеличением водоносности реки. И если на нижней Оби рукава одиночных разветвлений образуют исключительно пологие излучины, то на средней встречаются развитые [Чалов, Камышев, Куракова и др., 2022]. В рукавах раздвоенного русла нижней Оби на фоне рассредоточения стока воды и уменьшения расходов воды в них отмечается существенное снижение радиуса кривизны r и шага излучин L (средние значения в 1,2-1,3 раза, минимальные – до 1,8 раза). При этом связь между изменением расходами воды рукавов и параметрами излучин неустойчивая, так как может нарушаться вследствие не только рассредоточения стока по рукавам разветвлений, но и впадением или ответвлением многочисленных проток, расчленяющих пойму. При ответвлении от Малой Оби сначала Тоготской Оби, затем проток Вайсовой и Большого Нюрика (рукава раздвоенного русла) и Малой Горной Оби ниже по течению r и L снижаются, достигая наименьших значений после ответвления последней – $L_{\text{мин}}=1,2$ км, $r_{\text{мин}}=0,44$ км, а l/L растёт до максимальных значений – 1,9. На Горной Оби эта закономерность прослеживается только в некотором уменьшении параметров на участке, где она сама образует раздвоенное русло (собственно Горная Обь и Сомутнельская протока), по сравнению с вышерасположенным участком. Три свободные излучины Большой Оби, имеющиеся лишь в начале рукава, характеризуются большими значениями параметров (r – до 5,2 км, L – до 11,5 км, l/L – до 1,7) вследствие бóльших расходов воды.

Нижний Иртыш, меандрирующий на большей части своего протяжения, также характеризуется преобладанием пологих свободных излучин, доля которых несколько растёт к устью (с 41 % на участке от устья Тары до устья Тобола до 46 % ниже Тобола), тогда как доля крутых ($l/L=1,7\div 2,0$), наоборот, снижается (рисунок 4.3.3).

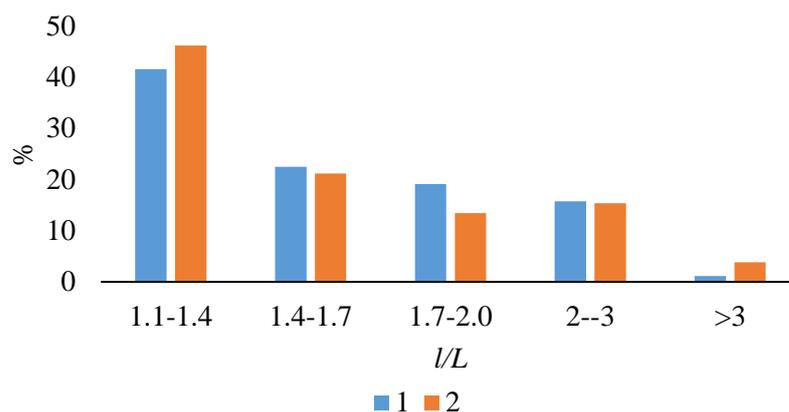


Рисунок 4.3.3 – Распределение излучин по степени развитости на нижнем Иртыше: 1 – от устья Тары до устья Тобола, 2 – от устья Тобола до слияния с Обью

Параметры свободных излучин r и L ниже впадения Тобола отличаются превышением в 1,5-2 раза средних значений по сравнению с участком выше по течению, тогда как по средним значениям l/L четкой тенденции изменения не прослеживается. От устья Тары до устья Тобола направленных трендов изменения морфологических параметров также не отмечено. Исключение составляют их максимальные значения: $r_{\text{макс}}$ растет с 1,7 до 2,5 км, $L_{\text{макс}}$ – с 3,3 до 4,6 км, а l/L уменьшается с 3,2 до 2,9, что соответствует постепенному увеличению водоносности реки. Ниже по течению, наоборот, происходит уменьшение параметров излучин: радиусы кривизны r и шаги L излучин в среднем уменьшаются с 2,1 до 1,5 км и с 4,0 до 3,0 км, соответственно. При этом на данном участке доля пологих излучин становится меньше, уступая развитым и крутым, а в самых низовьях исчезают излучины с $l/L > 3,0$.

Если для излучин русла Иртыша в целом характерен широкий диапазон изменения их степени развитости (l/L изменяется от 1,1 до 5,9, т.е. от пологих до петлеобразных), то рукава русловых разветвлений (одиночные и односторонние) образуют только пологие излучины ($l/L = 1,1 \div 1,4$) [Куракова, Чалов, 2022].

На средних и больших меандрирующих реках Обь-Иртышского бассейна среди исследованных свободных излучин почти половину (47 %) от всех излучин составляют пологие ($l/L = 1,1 \div 1,4$) и развитые ($l/L = 1,4 \div 1,7$), почти четверть (24 %) – излучины с l/L от 2,0 до 3,0 (рисунок 4.3.4).

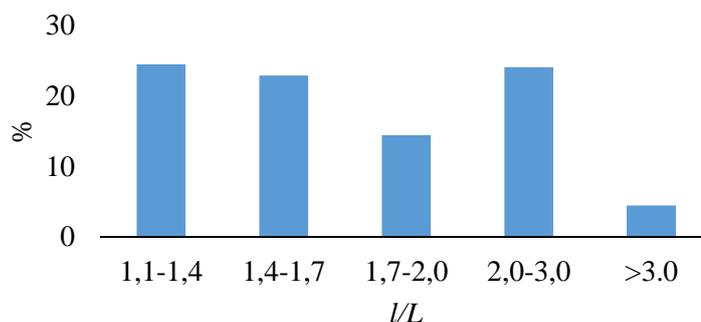


Рисунок 4.3.4 – Распределение излучин по степени развитости на средних и больших реках Обь-Иртышского бассейна (кроме Оби и Иртыша)

Для рек Обь-Иртышского бассейна (притоков Оби и Иртыша) сверху вниз по течению отмечается увеличение расходов воды, следовательно, размеров излучин. Происходит возрастание радиусов кривизны r и шагов L излучин, но связанное с этим ослабление поперечной циркуляции приводит к снижению I/L , т.е. доля крутых излучин становится меньше, уступая место пологим. В рукавах пойменно-русловых разветвлений параметры также снижены по сравнению с соседними неразветвленными участками [Ермакова, 2004]. Эти же закономерности характерны для раздвоенных русел Кети, Ваха, Казыма и Конды.

В целом в направлении на север бассейна и вглубь его параметры излучин становятся меньше (таблица 4.3.1).

Таблица 4.3.1 – Морфологические параметры форм русла рек Обь-Иртышского бассейна (без Оби и Иртыша)

| Река | r | | | | L | | | | I/L | | | |
|--------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-------|------|-----|------|
| | ср | мода | мин | макс | ср | мода | мин | макс | ср | мода | мин | макс |
| Томь | 1 | 0,4 | 0,3 | 2,6 | 2,4 | 1,2 | 0,7 | 6 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 2,9 |
| Чулым | 1,2 | 1,1 | 0,4 | 2,1 | 2,5 | 2,3 | 0,7 | 5,3 | 1,9 | 2,1 | 1,1 | 3,2 |
| Кеть | 0,7 | 0,5 | 0,1 | 2,1 | 1,4 | 1,5 | 0,3 | 3,9 | 1,9 | 1,3 | 1,1 | 3,6 |
| Тым | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 1,6 | 1,8 | 1,3 | 1,1 | 3,9 |
| Вах | 0,9 | 0,7 | 0,3 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 0,5 | 4,6 | 1,8 | 1,8 | 1,1 | 3,4 |
| Тромъеган | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 1,4 | 0,7 | 0,5 | 0,2 | 2,1 | 1,8 | 1,5 | 1,1 | 4,1 |
| Аган | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,3 | 1,6 | 1,9 | 1,6 | 1,1 | 3,5 |
| Лямин | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 1,1 | 1,9 | 1,3 | 1,1 | 4 |
| Казым | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,2 | 1,4 | 1,8 | 1,3 | 1,1 | 3,6 |
| Полуй | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,9 | 0,8 | 0,5 | 0,2 | 1,7 | 1,8 | 1,2 | 1,1 | 3,8 |
| Парабель | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 1 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 1,5 | 1,9 | 1,3 | 1,1 | 4,3 |
| Васюган | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 1,4 | 1,9 | 1,2 | 1,1 | 3,5 |
| Большой Юган | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 1,2 | 1 | 1,2 | 0,3 | 2,9 | 2 | 2,6 | 1,1 | 3 |
| Демьянка | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | 1,6 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 3,2 |
| Тобол | 0,8 | 0,6 | 0,2 | 3,2 | 1,5 | 1,1 | 0,3 | 5,6 | 1,7 | 1,2 | 1,1 | 3,9 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Тура | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 1 | 1 | 0,8 | 0,3 | 2,1 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 4,6 |
| Тавда | 0,8 | 0,9 | 0,3 | 1,5 | 1,5 | 1,1 | 0,4 | 3,1 | 1,8 | 1,3 | 1,1 | 4,3 |
| Конда | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 0,3 | 2,4 | 1,8 | 1,4 | 1,1 | 3,7 |
| Северная Сосьва | 1,8 | 1,9 | 0,9 | 2,1 | 3,5 | 4 | 2,4 | 4 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,9 |

Наибольшие величины, прежде всего, радиус кривизны r и шаг L излучин русла, рукавов пойменно-русловых разветвлений и рукавов одиночных разветвлений характерны для притоков Оби на юго-востоке бассейна – Томи и Чулыма. При продвижении на северо-запад по правобережью на реках Кети, Тyme и Вахе параметры форм русла несколько снижаются. В центральной части бассейна как на правых притоках (Тромъеган, Аган и Лямин), так и реках, приуроченных к Обь-Иртышскому междуречью – Парабель, Васюган, Большой Юган и Демьянка, значения r и L становятся еще меньше. К северу, на Казыме и Полуе, наблюдаются наименьшие значения радиуса кривизны и шага излучин русла и рукавов одиночных разветвлений. К западу значения r и L снова возрастают, что прослеживается по Конде, Тоболу и его притокам – Тавде и Туре, а также на такой большой реке, как Северная Сосьва.

Помимо этого, у таких больших рек, как Томь, Чулым и Северная Сосьва со среднегодовым расходом воды больше $700 \text{ м}^3/\text{с}$, излучины русла и рукавов разветвлений имеют большие значения r и L , чем на других средних реках Обь-Иртышского бассейна. Это объясняется тем, что в отличие от большинства рек, которые являются равнинными на всем своем протяжении, эти реки берут свое начало в горах юга Сибири. К тому же, выявленные направления изменения параметров форм русла для притоков Оби и Иртыша коррелируют с установленными закономерностями изменения параметров, описывающих характеристики стока рек в зависимости от структуры речной сети (рисунок 2.3.2, таблица 2.3.2).

Связь между параметрами форм русла (радиус кривизны и шаг) и порядком рек Обь-Иртышского бассейна описывается верхними огибающими (рисунок 4.3.5), которые резко возрастают при $N \approx 14$, где проводится граница между средними и большими реками [Пахомова, 2001].

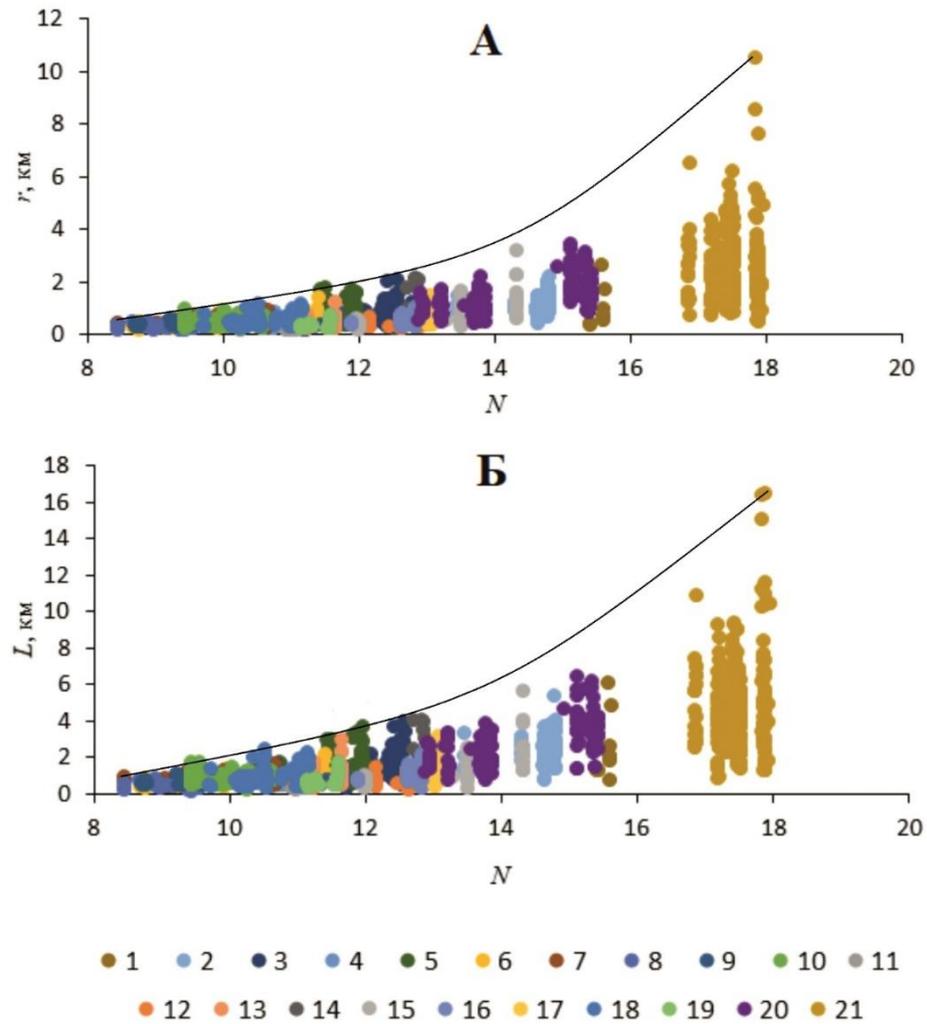


Рисунок 4.3.5 – Связь порядка реки N и радиуса кривизны r (А) и шага L (Б) форм русла (излучин русла, рукавов раздвоенного русла, рукавов пойменно русловых разветвлений и рукавов русловых разветвлений) рек Обь-Иртышского бассейна: 1 – Томь, 2 – Чулым, 3 – Кеть, 4 – Тым, 5 – Вах, 6 – Тромъеган, 7 – Аган, 8 – Лямин, 9 – Казым, 10 – Полуй, 11 – Парабель, 12 – Васюган, 13 – Большой Юган, 14 – Северная Сосьва, 15 – Тобол, 16 – Тура, 17 – Тавда, 18 – Конда, 19 – Демьянка, 20 – Иртыш, 21 – Обь

Для всех рек наблюдается рост значений r и L с увеличением порядка реки N , т.е. расходов воды, что было подтверждено исследованиями А.С. Завадского [2001], который рассматривал в том числе некоторые реки Обь-Иртышского бассейна (Северная Сосьва, Казым, Вах, Тромъеган, Назым, Ляпин, Пим, Юган и Иртыш и их притоки).

Глава 5. Размывы берегов на реках бассейна

5.1. Распространение размываемых берегов и скорости размыва на реках бассейна

При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

Куракова А.А. Размывы пойменных берегов Оби и Иртыша и их связь с морфологией русла // Географический вестник – 2022. – № 1(60). – С. 40–59. (100 %),
Куракова А. А., Чалов Р.С. Морфодинамика русла нижнего Иртыша // Геоморфология. – 2022. – Т. 53, № 4. – С. 99–109. (50 %).

Размывы берегов представляют собой наиболее яркое проявление горизонтальных русловых деформаций, возникающее при воздействии потока на берега и приводящее к их отступанию, разрушению находящихся на них инженерных объектов [Чалов, 2022]. Для Обь-Иртышского бассейна характерно широкое распространение размываемых берегов на всех реках (рисунок 5.1.1), что определяется свободными условиями развития русловых деформаций практически на всей его территории и абсолютным преобладанием рыхлых, легкоразмываемых отложений, слагающих берега.

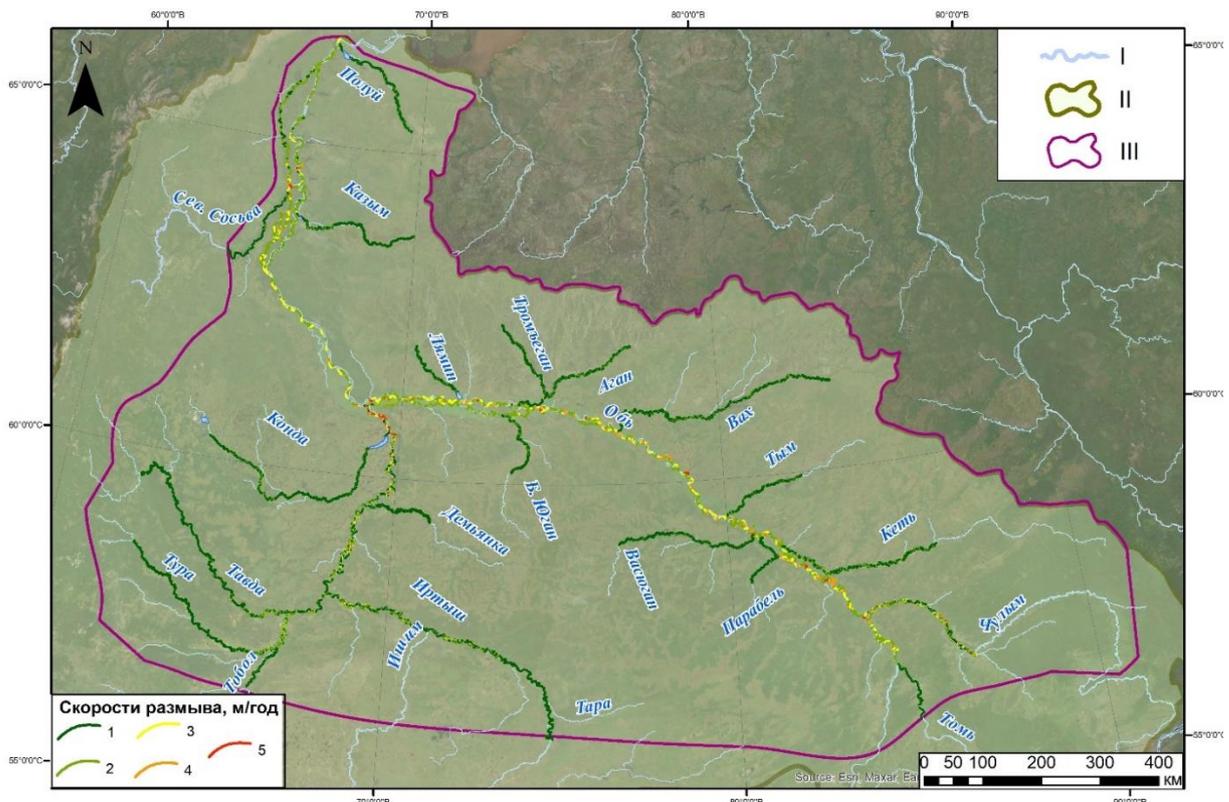


Рисунок 5.1.1 – Распространение размываемых берегов и скоростей их размыва на реках Обь-Иртышского бассейна: 1 – <1 м/год, 2 – 1-3 м/год, 3 – 3-5 м/год, 4 – 5-7 м/год, 5 - >7 м/год. I-III – см. подписи к рисунку 2.1.1

Для средних и большинства больших рек характерны относительно невысокие скорости размыва берегов (до 3 м/год), на крупнейших (Обь и Иртыш) и в низовьях некоторых больших рек (Томь, Чулым, Тобол) темпы отступления берегов возрастают, достигая иногда 10 м/год и более.

Обь (от устья р. Томи до г. Салехарда)

Наиболее активные горизонтальные русловые деформации и, соответственно, размывы берегов характерны для р. Оби, которые были определены за период с конца 1960-х гг по 2020 г. В ее среднем и нижнем течении (от слияния с р. Томью до г. Салехарда) скорости размыва берегов изменяются в широком диапазоне: средние – от 0,5 до 13,3 м/год, среднемаксимальные – 0,6-26,6 м/год. При этом Обь можно разделить по динамике береговой линии на пять участков: А – от слияния с р. Томью до устья р. Ваха, Б – от устья р. Ваха – до слияния с р. Иртышом, В – от слияния с р. Иртышом до разделения на Малую и Горную Обь (с. Перегрёбное), Г – раздвоенное русло нижней Оби, Д – от слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда (рисунок 5.1.2). При росте вниз по течению водоносности реки направленный тренд увеличения по длине реки интенсивности отступления берегов не прослеживается; наоборот, можно говорить о снижении максимальных значений, особенно на нижней Оби. Это связано с рассредоточением стока воды по рукавам сначала пойменно-русловых разветвлений и по пойменным протокам (от г. Колпашево до устья Ваха), а затем раздвоенного русла, пойменным протокам (ответвлениям) и по расширяющейся пойме при ее глубоком и длительном затоплении в половодье, на фоне постоянных изменений морфодинамического типа русла. Влияние коренных берегов почти не сказывается на средней Оби из-за локальности их подходов к реке и практически постоянно проявляется на всем протяжении нижней Оби, в т.ч. для правого рукава раздвоенного русла (Горной и Большой Оби) [Куракова, 2022].

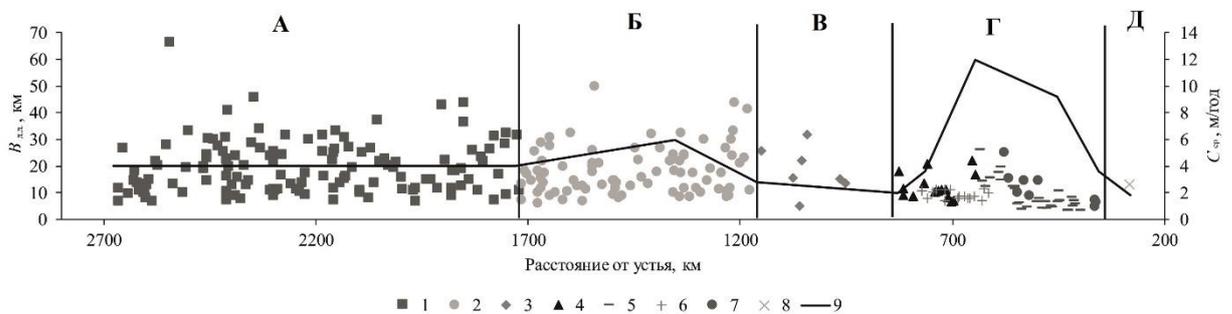


Рисунок 5.1.2 – Изменение скорости размыва берегов (1 - 8) и ширины днища долины (9) по длине Оби: 1 – между устьями рек Томи и Ваха – А; 2 – между устья рек Ваха и Иртыша – Б; 3 – от устья р. Иртыша до с. Перегрёбного – В; Г: 4 – Малая Обь (от захода в

нее до поперечной протоки Большой Нюрик), 5 – Малая Обь (от протоки Большой Нюрик до устья), 6 – Горная Обь, 7 – Большая Обь; 8 – Обь ниже слияния Малой и Большой Оби – Д. 9 – ширина днища долины. А-Д – индексы участков Оби

Размывы коренных берегов локальны. Их отступление связано со склоновыми процессами – оползнями, осыпями, провоцируемыми воздействием потока на берега [Трофимов, 1971]. Вдоль коренного берега русло нижней Оби в основном относительно прямолинейное, неразветвленное или преобладают одиночные и односторонние разветвления; размыв пойменных берегов здесь происходит с небольшой скоростью, что обусловлено субпараллельностью потока и берегов. Другой случай – размыв их напротив крупных побочней, направляющих поток к пойменным берегам, или в левых рукавах одиночных разветвлений. Направляющее воздействие на поток оказывают также выступы (мысы) коренных берегов, приводя к размывам противоположных пойменных берегов [Куракова, 2022].

Существенное отличие в темпах размыва берегов наблюдается выше и ниже 830 км (с. Перегрёбное), когда появляется раздвоенное русло нижней Оби и темпы размыва берегов снижаются в 2 и более раза (рисунок 5.1.2). Это происходит на фоне сокращения водоносности каждого из рукавов в 1,5-2 и более раз по сравнению с единым руслом, продолжающегося и даже возрастающего рассредоточения стока по пойменным протокам (ответвлениям) и более длительного затопления (в среднем до 140 дней [Петров, 1979]) очень широкой поймы (40-60 км).

На участках Оби с руслом различного типа характеристики размыва берегов имеют свои особенности. Отношение общей протяженности размываемых берегов ($L_{фр}$) к суммарной длине береговой линии (X) (рисунок 5.1.3а), и средних ($C_{ср}$, м/год) (рисунок 5.1.3б) и максимальных ($C_{макс}$, м/год) (рисунок 5.1.3в) скоростей размыва берегов в русле разного типа несколько выше для средней Оби по сравнению с ее нижним течением [Куракова, 2022].

Различия в интенсивности горизонтальных русловых деформаций на средней и нижней Оби связаны с увеличением вниз по течению степени рассредоточенности стока в связи с появлением раздвоенного русла и большого количества пойменных проток (ответвлений), значительным расширением поймы в нижнем течении (максимум до 60 км) и ее глубокого затопления. Соответственно ниже устья р. Кети снижается удельная величина руслоформирующего расхода воды (его верхнего интервала), проходящего при затопленной пойме.

На средней и нижней Оби наибольшие значения соотношения $L_{\text{фр}}/X$ характерны для пойменно-руслowych разветвлений, рукава которых образуют серии излучин (от 2 до 6) и каждая из которых имеет свой фронт размыва берегов, и вписанные излучины, вогнутые террасовые берега которых сложены легкоразмываемыми песчаными аллювиальными отложениями (рисунок 5.1.3а). Высокие значения $L_{\text{фр}}/X$ характерны также для прорванных излучин средней Оби, где происходит активное развитие спрямляющего рукава и трансформация старого русла, приспособляющегося к новым условиям водности; в нижнем течении их всего три, и все они находятся на Горной Оби [Куракова, 2022].

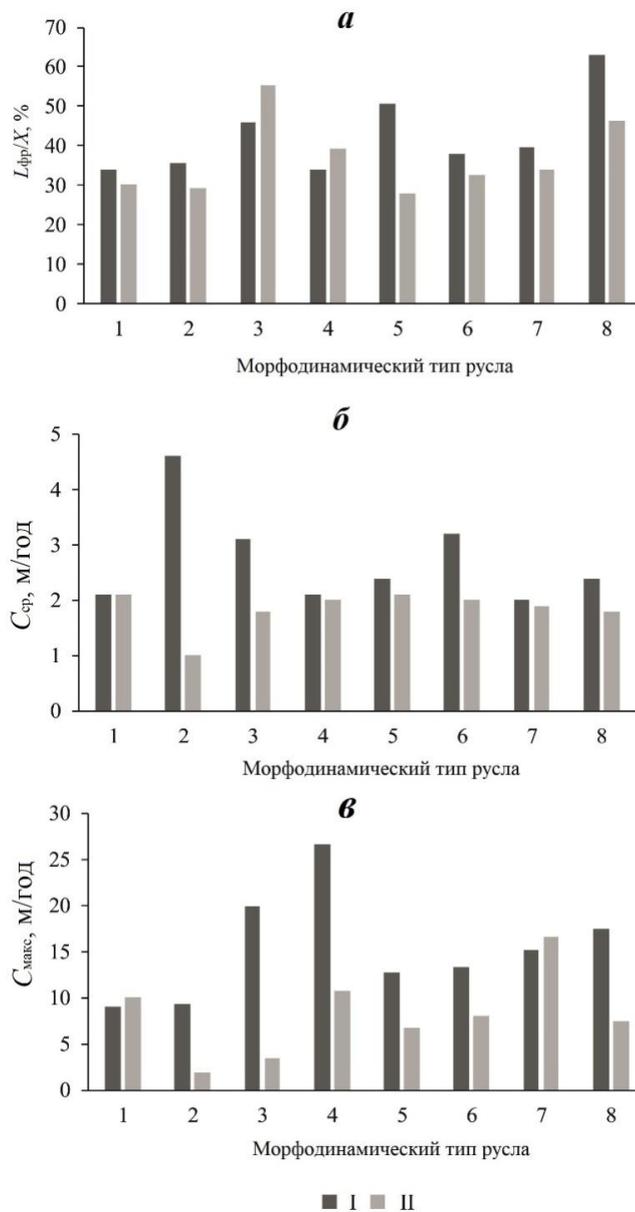


Рисунок 5.1.3 – Относительная протяженность $L_{\text{фр}}/X$, где $L_{\text{фр}}$ – общая протяженность фронтов размыва, X – суммарная длина береговой линии) (а), средние $C_{\text{ср}}$ (б) и максимальные $C_{\text{макс}}$ (в) скорости размыва берегов на средней (I) и нижней (II) Оби в русле

различного тип: 1 – прямолинейное русло и односторонние разветвления; излучины: 2 – вынужденные, 3 – вписанные, 4 – свободные, 5 – прорванные; разветвления: 6 – русловые (островные), 7 – одиночные, в т.ч. чередующиеся, 8 – пойменно-русловые

Высокие средние скорости размыва присущи пойменным берегам в верхних крыльях вынужденных излучин (рисунок 5.1.3б), а также при нарушении условия безотрывного обтекания потоком берегов $r < 3b_p$ – правила Миловича (r – радиус кривизны излучины, b_p – ширина русла), образовании в связи с этим водоворотной зоны у вогнутого берега и смещении динамической оси потока к выпуклому берегу. При этом происходят слив в русло осветленных с выклинивающейся выше по течению поймы и постепенное увеличение угла подхода потока к коренному берегу, что способствует активизации воздействия потока на него. Интенсивное отступление берегов характерно также для вписанных излучин и некоторых русловых разветвлений (параллельно-рукавные и сопряженные), в которых стрежень потока часто подходит к пойменным берегам или островам под большим углом. В нижнем течении Оби скорости размыва берегов несколько снижены на излучинах русла и рукавов пойменно-русловых разветвлений из-за их нахождения в рукавах раздвоенного русла. Снижаются скорости размыва берегов в одиночных разветвлениях, рукава которых образуют в основном пологие излучины [Куракова, 2022]. Наибольшие максимальные скорости размыва берегов приурочены свободным и вписанным излучинам на средней Оби и одиночным разветвлениям – на нижней, где в последнем случае большую роль играют мысы правого коренного берега, направляющие основной поток в левый рукав, обеспечивающий активное его развитие. У вписанных излучин, как, например, у г. Колпашево, вогнутый берег представляет собой уступ речной аллювиальной террасы, сложенной легкоразмываемыми песчаными отложениями, характеризующаясь очень интенсивным (до 20-25 м/год) отступанием берегов, чему способствует также слив осветлённых вод с выклинивающейся поймы непосредственно выше по течению [Куракова, 2022].

Иртыш (от устья р. Тары до слияния с р. Обью)

На среднем и нижнем Иртыше средние скорости размыва берегов на излучинах изменяются от 1,2 до 11,3 м/год, среднемаксимальные – 1,6-17,2 м/год за период с середины 1980-х гг по 2021 г. Иртыш также разделяется на пять участков: А – устье Тары – 850 км, Б – 850 км – устье Тобола, В – устье Тобола – устье Демьянки, Г – между устьями Демьянки и Конды, Д – от устья Конды до слияния Иртыша и Оби (рисунок 5.1.4). Для всего Иртыша наблюдается постепенное увеличение темпов отступления берегов вниз к устью, что коррелирует с увеличением водоносности реки в том же направлении.

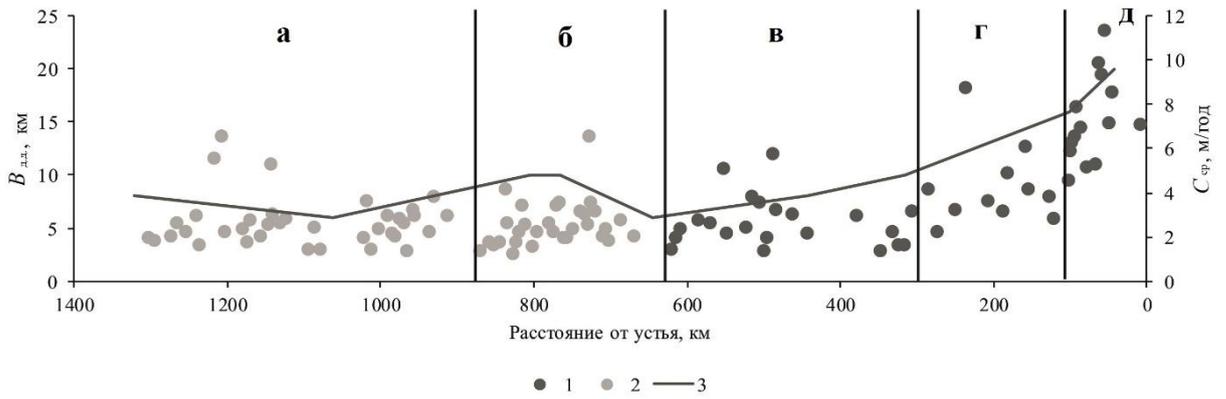
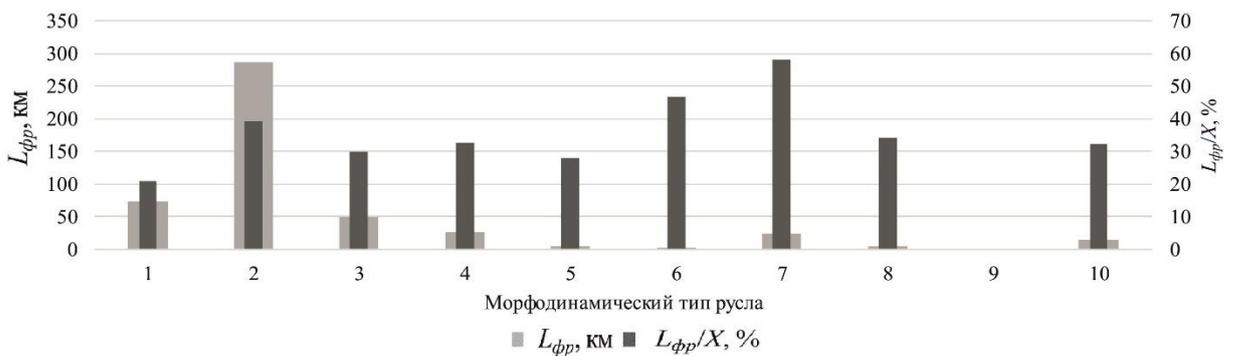


Рисунок 5.1.4 – Изменение скорости размыва берегов (1, 2) и ширины днища долины (3) по длине нижнего Иртыша: 1 – от устья р. Тары до устья с р. Тобола, 2 – от устья р. Тобола до слияния с р. Обью. а-д – индексы участков нижнего Иртыша

Самый распространенный морфодинамический тип русла на нижнем Иртыше – свободные излуцины. Для них характерна наибольшая протяженность размываемых берегов – 287 и 216 км или 39 и 42 %, соответственно, суммарной длины береговой линии на нижнем Иртыше выше (рисунок 5.1.5 А) и ниже (рисунок 5.1.5 Б) крупнейшего притока – р. Тобола. На сегментных излуцинах фронт размыва приурочен к зонам ускорения течения – выпуклым берегам в верхних крыльях излуцин и вогнутым берегам в нижних крыльях или, при большой их крутизне, к привершинным частям [Чалов и др., 2004].

А



Б

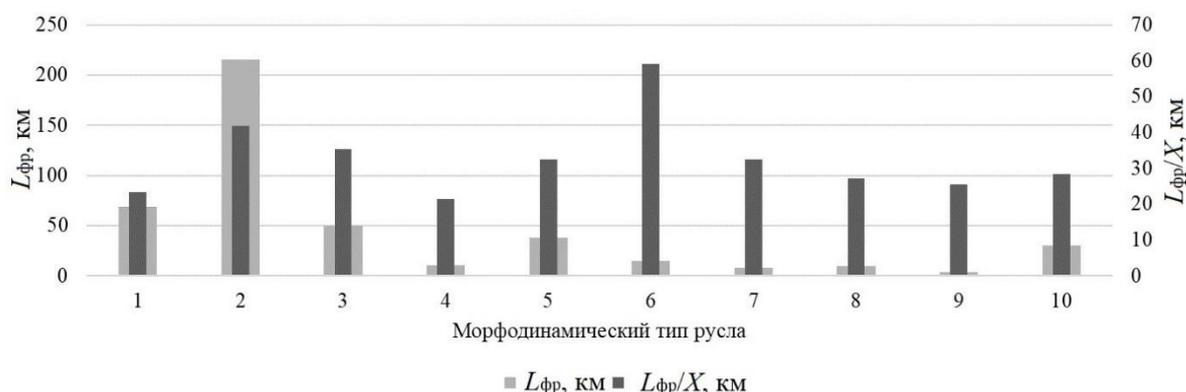


Рисунок 5.1.5 – Абсолютная ($L_{фр}$, км) и относительная ($L_{фр}/X$, км) протяженность фронта размыва берегов для русла с различным морфодинамическим типом нижнего Иртыша: А – устье р. Тары – устье р. Тобола, Б – устье р. Тобола – слияние Оби и Иртыша.

Типы русла: 1 – прямолинейное неразветвленное русло; излучины: 2 – свободные, 3 – вписанные, 4 – вынужденные, 5 – трапецевидные, 6 – обтекающие, 7 – прорванные; разветвления: 8 – односторонние, 9 – параллельно-рукавные, 10 – одиночные

Другой часто встречающийся тип – относительно прямолинейное, неразветвленное русло – характеризуется размывами берегов на 21 % (73 км) общей протяженности их береговой линии от устья р. Тары до устья Тобола, ниже слияния Иртыша с Тоболом – 23,4 % или 69 км. Размывы берегов в прямолинейном русле происходят в тех местах, где стрежень потока, огибая побочни, прижимается к ним. На данном участке как излучины, так и прямолинейное русло нередко осложнены вторичными разветвлениями: излучины – островами преимущественно в привершинной части, прямолинейное русло – осередковыми или односторонними прибрежными разветвлениями. Половина длины береговой линии размывается на обтекающих излучинах Иртыша: одной выше устья Тобола (47 % или 3 км) и двух – ниже по течению (59 %, 15 км). Для остальных типов излучин нижнего Иртыша (трапецевидных, вынужденных, вписанных) размыв берегов происходит примерно на трети их суммарной длины (28-33 % – выше Тобола и 22-35 % – ниже Тобола). Больше половины общей протяженности берегов на прорванных излучинах размывается на субширотном участке Иртыша (58 % или 25 км), тогда как в нижнем течении всего 8 км или 32 % общей длины. На достаточно редко встречающихся русловых разветвлениях (одиночных, односторонних и параллельно-рукавных) размывается около трети длины береговой линии Иртыша выше Тобола (32-34 %) и четверти (25-28 %) – ниже по течению [Куракова, Чалов, 2022].

Средняя скорость размыва берегов нижнего Иртыша (от устья Тары до слияния с Обью) составляет 2,1 м/год: выше устья Тобола она составляет 1,8 м/год, ниже – 2,3 м/год. Для русла каждого типа ниже Иртыша выше и ниже впадения р. Тобола были определены среднегодовая ($C_{\text{ср}}$, м/год) и максимальная ($C_{\text{ср.макс}}$, м/год) скорости размыва берегов (рисунок 5.1.6).

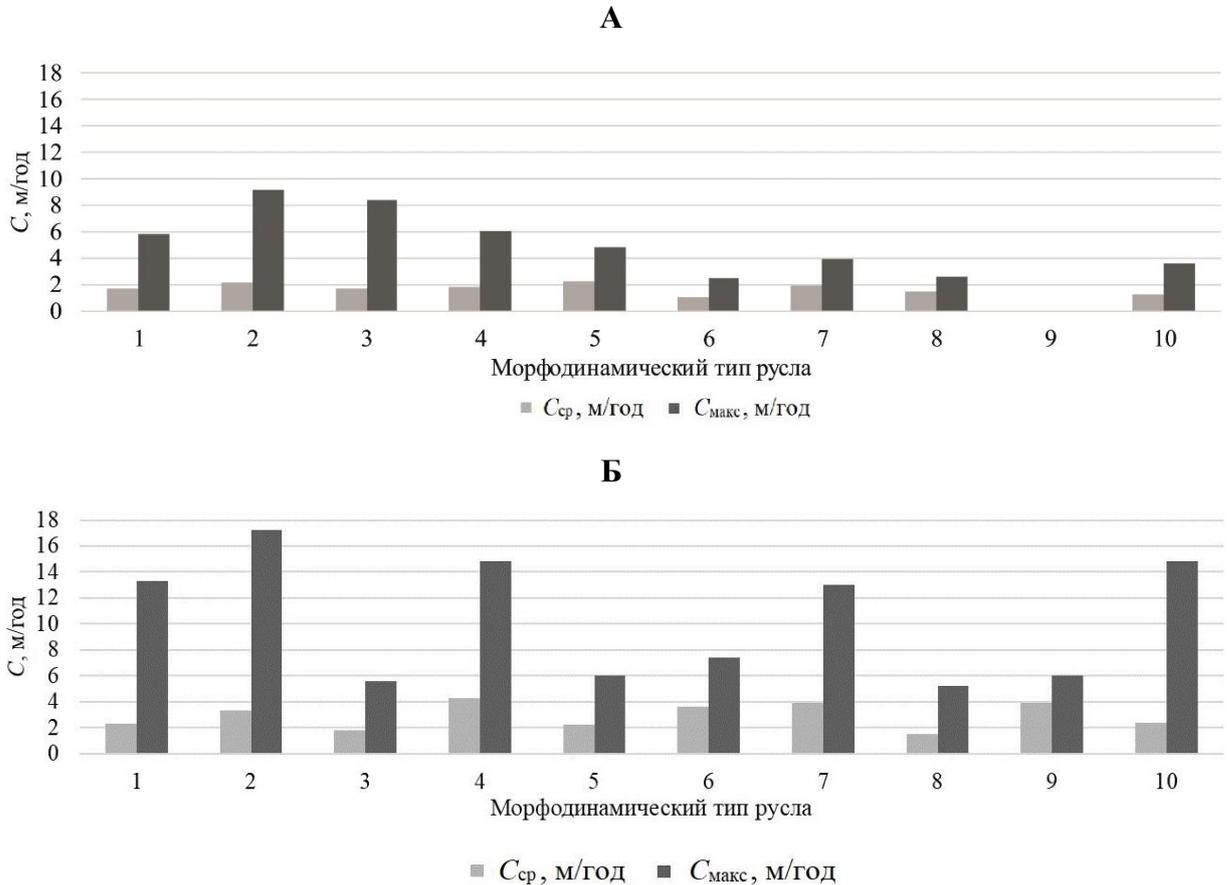


Рисунок 5.1.6. Средние ($C_{\text{ср}}$, м/год) и максимальные ($C_{\text{ср.макс}}$, м/год) скорости размыва берегов на участках русла с разным морфодинамическим типом на нижнем Иртыше: А – устье р. Тары – устье р. Тобола, Б – устье р. Тобола – слияние Оби и Иртыша. Подписи см. рисунок 5.1.5

В целом средние скорости размыва берегов на различных типах русла Иртыша выше Тобола ниже (1,0-2,2 м/год) по сравнению с участком ниже по течению (1,1-4,3 м/год) (рисунок 5.1.6 А, Б).

На Иртыше выше устья Тобола средние скорости размыва на различных типах русла в основном составляют до 2,0 м/год; наибольшие характерны для свободных (2,1 м/год) и сундучных (трапецевидных) излучин – 2,2 м/год; последние составляют комбинацию вынужденной и адаптированной излучин, на которых происходят размывы берегов в верхнем крыле у первой и нижнем – у второй, и прямолинейной вставки между ними.

Достаточно высокие значения средних скоростей (1,9 м/год) наблюдаются для прорванных излучин, в которых происходит развитие излучин в новом спрямляющем рукаве. Наименьшие скорости присуще русловым разветвлениям (одиночным и односторонним), рукава которых образуют пологие излучины, – 1,3 и 1,5 м/год и обтекающим излучинам (1,0 м/год). Самая высокая максимальная скорость размыва берегов (9,2 м/год) зафиксирована на свободной излучине, которая развивается в месте спрямления петлеобразной излучины, произошедшего за счет встречного размыва берегов на ее крыльях, образующих в свою очередь сегментные излучины. Ниже по течению скорость размыва 8,4 м/год наблюдается на вогнутом берегу вписанной излучины. Для остальных типов максимальные скорости не превышают 6 м/год.

Для большинства типов русла Иртыша ниже Тобола средние скорости колеблются в диапазоне от 2,2 до 3,9 м/год. Более высокие средние скорости (4,3 м/год) зафиксированы на вынужденных излучинах с нарушенным условием безотрывного обтекания потоком берегов, и наоборот, минимальные (1,5-1,8 м/год) – в рукавах односторонних разветвлений и на вписанных излучинах. Причем на вписанных излучинах Иртыша скорости ниже по сравнению с теми же на Оби, что является следствием разного геологического строения их коренных берегов: на Оби это – аллювиальные террасы, на Иртыше – возвышенности, сложенные более прочными, связными отложениями – сизыми суглинками. Самая высокая максимальная скорость размыва зафиксирована на крутой свободной излучине – 17,2 м/год. Достаточно высокие максимальные скорости отмечены в верхнем крыле вынужденной излучины (14,8 м/год), что обусловлено крутым углом подхода потока к берегу и слива осветленных вод с выклинивающей выше по течению поймы, и в спрямляющем и активно развивающемся рукаве прорванной (13 м/год) излучины, а также в рукавах одиночных разветвлений (14,8 м/год) и в прямолинейном русле (13,3 м/год), которые часто осложнены крупными побочными или разветвлениями второго порядка, отклоняющих поток к противоположным берегам. Для остальных типов русла максимальные скорости размыва берегов изменяются от 5,2 до 7,4 м/год [Куракова, Чалов, 2022].

Остальные реки Обь-Иртышского бассейна

Для всех остальных рек бассейна средние скорости размыва берегов на их излучинах были определены за период с начала 1970-х гг по 2001-2020 гг и колеблются в пределах 1-6,9 м/год, максимальные – 1,1-12,7 м/год (характеристики размыва берегов для каждой реки представлены в таблица 5.1.1).

Таблица 5.1.1 – Характеристики размыва берегов на реках Обь-Иртышского бассейна

| Река | Границы рассматриваемого участка, км | С, м/год | | | |
|-----------------|--------------------------------------|----------|---------|------|--------------|
| | | среднее | медиана | мода | максимальные |
| Томь | 120-0 | 2,4 | 1,9 | 1,5 | 6,5 |
| Чулым | 400-0 | 3,3 | 2,8 | 1,3 | 12,7 |
| Кеть | 556-0 | 1,9 | 1,7 | 1,2 | 6,2 |
| Тым | 311-0 | 2,3 | 2,1 | 1,7 | 5,3 |
| Вах | 771-0 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 3,8 |
| Тромъеган | 389-0 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 5,9 |
| Аган | 373-0 | 1,7 | 1,5 | 1,2 | 8,9 |
| Лямин | 277-0 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 2,4 |
| Казым | 444-0 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 4,9 |
| Полуй | 397-0 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 3,1 |
| Парабель | 246-0 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 2,1 |
| Васюган | 470-0 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 4,4 |
| Большой Юган | 294-0 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 3,4 |
| Демьянка | 311-0 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 3,3 |
| Тобол | 434-0 | 1,9 | 1,7 | 1,4 | 6,8 |
| Тура | 659-0 | 2,0 | 1,7 | 1,1 | 6 |
| Тавда | 730-0 | 2,2 | 2,0 | 1,1 | 7,1 |
| Конда | 735-0 | 1,7 | 1,5 | 1,2 | 5,2 |
| Северная Сосьва | 153-0 | 2,3 | 1,9 | 1,7 | 6,8 |

Изменение интенсивности горизонтальных русловых деформаций по длине рек имеют разные тренды (рисунок 5.1.7, приложение 3), что обусловлено многими факторами. В одном случае, скорости размыва берегов возрастают к устью, что происходит в соответствии с увеличением водоносности рек в том же направлении. Таковы реки Тым, Аган, Казым, Васюган, Демьянка, Тура и Конда (рисунок 5.1.7а). На многих реках – Томи, Тромъегане, Полуде, Большом Югане, Тоболе, Тавде и Северной Сосьве – интенсивность отступления берегов также растет по длине реки, но в низовьях снижается (рисунок 5.1.7б). Это обусловлено расширением днища долин, особенно когда она становится общей с Обью или Иртышом, и растеканием по ней потока в половодье, а иногда и образованием озеровидных расширений русла и соров в результате периодического подпора со стороны главных рек (например, на реке Конде). На Чулыме, Кети, Вахе и Лямине не проявляется направленный тренд изменений скоростей размывов берегов по длине рек (рисунок 5.1.7в). Это объясняется в первую очередь изменением параметров излучин (степени развитости l/L , радиусов кривизны r и шагов L) в зависимости от ширины днища долины B_d , степени разветвленности русла и др.

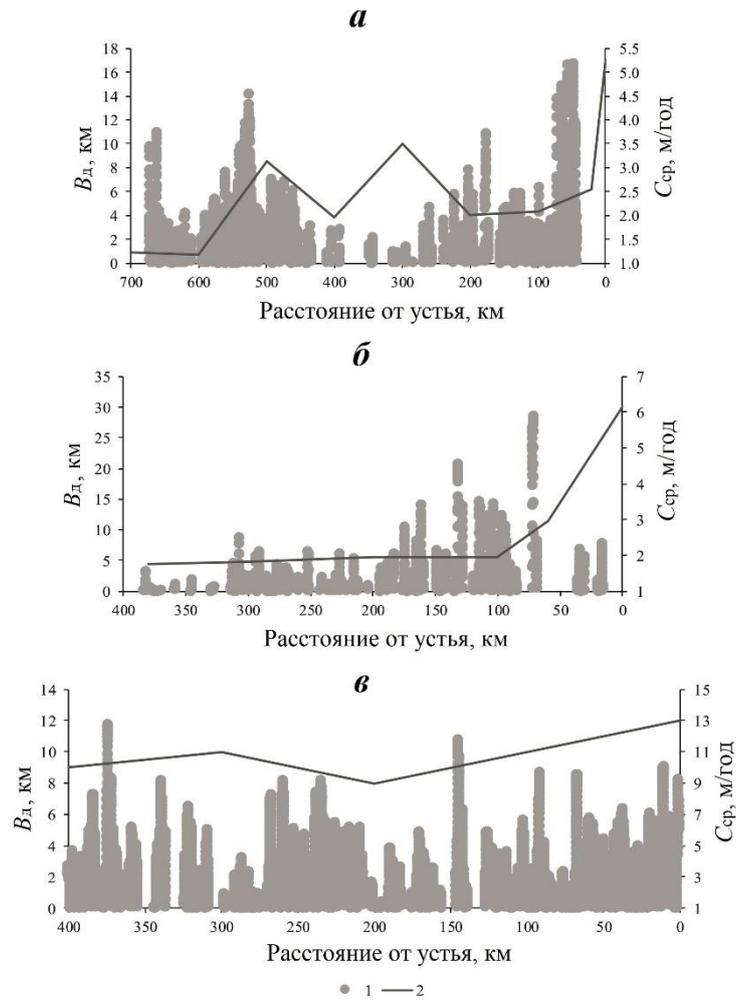


Рисунок 5.1.7 – Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине рек Конды (А), Тромъегана (Б) и Чулыма (В)

Поскольку главным типом русла всех средних и больших рек Обь-Иртышского бассейна является меандрирующее (извилистое) русло, то практически все размывы берегов приходятся на излучины русла и рукава пойменно-русловых разветвлений и рукавов раздвоенных русел.

5.2. Влияние рассредоточения стока воды в разветвлениях русла на интенсивность размывов берегов

Обь (от устья р. Томи до г. Салехарда)

От слияния с р. Тотьмою до устья р. Ваха, где отсутствует раздвоенное русло Оби, средняя скорость отступления пойменных берегов составляет 3,1 м/год, максимальная зафиксирована на одной из крутых излучин – 26,6 м/год. Этому также способствует тот факт, что до устья р. Кети руслоформирующий расход Q_{ϕ} проходит в пойменных бровках.

Ниже по течению Q_{ϕ} соответствует затоплению поймы в половодье [Чалов, 1979] – верхний интервал, широко развита пойменная многорукавность. Появление раздвоенного русла на широтном участке Оби и отвлечение части стока в его левые рукава не оказывает существенного влияния на интенсивность русловых деформаций ввиду того, что находится в пределах величины рассредоточения стока по многочисленным пойменным протокам (ответвлениям). Поэтому в основном по водоносности (правом) рукаве раздвоенного русла средней Оби берега размываются с той же средней скоростью, что и выше по течению – 3,2 м/год, но максимальная скорость становится несколько ниже – 17,6 м/год. В левых рукавах раздвоенного русла средней Оби из-за меньшей доли стока в них скорости размыва берегов в 1,5-2 раза меньше: в Юганской Оби – 1,8 м/год, Большой Салымской протоке – 1,9 м/год, протоке Неулёва – 1,4 м/год, максимальные соответственно – 5,3, 4,2 и 3,1 м/год [Чалов, Куракова и др., 2022].

Ниже слияния с р. Иртышом река течет единым руслом вдоль правого трудно размываемого коренного берега, скорости размыва пойменных берегов в среднем составляют – 2,8 м/год, максимумы преимущественно приурочены к левым пойменным рукавам одиночных разветвлений с большими расходами воды (до 16,6 м/год), в которые направляется основной поток выступами (мысами) правого коренного берега.

В раздвоенном русле нижней Оби в левом, протекающем преимущественно в пойменных берегах рукаве – Малой Оби (64 % от стока Оби на заходе) средние скорости размыва в верхней его части 2,3 м/год, максимальная – 10,1 м/год, зафиксированная в одностороннем разветвлении, в котором прибрежные острова ниже мыса усиливают отклонение стрежня потока к противоположному пойменному берегу [Чалов, Куракова и др., 2022]. Темпы отступления берегов на Малой Оби снижаются по мере оттока воды в пойменные протоки (Лапорскую, Пырсим и др.), в Тоготскую Обь и протоку Вайсову, образующими вторичные раздвоения русла Малой Оби [Чалов, Камышев, Куракова и др., 2021]. После ответвления протоки Вайсова, забирающей 67% стока Малой Оби, скорости уменьшаются до минимальных значений – 1,4 м/год. Исключение составляет участок, где ответвляется Лапорская протока (4,2 м/год), в связи с активным развитием здесь вновь сформировавшегося пойменно-руслового разветвления. Слияние Малой Оби с Тоготской Обью и впадение р. Северной Сосьвы (ее сток в устье суммируется со стоком по протоке Вайсова и двум пойменным протокам) обуславливают увеличение общего расхода воды; соответственно, происходит рост средней скорости размывов берегов до 4,5 м/год [Чалов, Куракова и др., 2022]. В Тоготской Оби – рукаве, проходящем в центральной части поймы (между рукавье, по В.Г. Смирновой [2002]; на нижней Оби (ее местное название

Межобье) и забирающем больше половины стока Малой Оби (60 %), скорости отступления берегов достигают 2,8 м/год, максимум зафиксирован на крутой излучине – 12 м/год.

В правом рукаве раздвоенного русла нижней Оби – Горная Обь (36 % стока Оби), располагающемся вдоль правого коренного берега, водоносность по длине существенно не меняется. Скорости размыва левых пойменных берегов на ней довольно низкие (средняя – 1,9 м/год, максимальная – 6,8 м/год в одиночном разветвлении) из-за относительной прямолинейности потока и пологих излучинах левых рукавов в разветвлениях. Заметные снижения темпов смещения русла (до 1,5 м/год) отмечаются при отходе от нее Сомутнельской протоки, которая забирает 40 % стока Горной Оби, представляя собой рукав ее раздвоенного русла.

Ниже по течению перераспределение стока по квазипоперечному рукаву – протоке Большой Нюрик между Малой и Горной Обью в пользу последней (после слияния их правый рукав раздвоенного русла называется Большой Обью) привело к изменению интенсивности размыва берегов в рукавах раздвоенного русла (Чалов, Завадский, Камышев, Куракова и др., 2021). На Малой Оби после сокращения стока воды на 41% наблюдается снижение темпов размыва берегов, на что накладывается дальнейшее рассредоточение стока по пойменным протокам и ответвлению левого рукава (Малой Горной Оби), до минимальных значений – 1,2 м/год при средних и максимальных скоростях – 1,4 и 10,7 м/год, соответственно. На Большой Оби, русло которой располагается в основном вдоль правого коренного берега, и после слияния с протокой Большой Нюрик суммарный сток правого рукава возрастает почти в 2 раза, скорости размыва левобережной поймы остаются невелики, составляя в среднем 2 м/год при максимальных значениях до 8,7 м/год, причем участки размыва встречаются локально. На приустьевой части Большой Оби ниже отхода ее от коренного берега и ответвления вправо Игорской Оби (20% стока Большой Оби), где появляется правобережная пойма, скорости отступления берегов составляют 1-1,7 м/год. Ниже слияния Малой и Большой Оби берега размываются со средней скоростью 1,7 м/год, несмотря на наиболее высокую мощность потока, что связано с большой шириной русла, разделением потока на две-три или более стрежневые зоны в прямолинейном русле и формированием параллельно-рукавных разветвлений, обеспечивающих рассредоточение стока воды [Чалов, Куракова и др., 2022].

Для русловых разветвлений средней и нижней Оби особенности рассредоточения стока находят отражение в переформировании рукавов и интенсивности размыва берегов в них. В прорванных излучинах в спрямляющем, зачастую основном (до 80 % стока) рукаве скорости размыва берегов – до 8 м/год, тогда как в старом русле они не превышают 3 м/год (рисунок 5.2.1а). Основные размывы берегов в односторонних разветвлениях

концентрируются в главном русле (до 70-90 % стока), их скорости выше в 2 раза и более по сравнению с второстепенными рукавами, имеющими долю стока 10-30 % и темпы отступления пойменных берегов в них находятся в пределах 1-1,5 м/год (рисунок 5.2.1б). Для одиночных разветвлений в рукавах с сосредоточением до 70-80 % стока наибольшая интенсивность смещения русла до 6 м/год и более, тогда как в рукавах с меньшими расходами воды скорости размыва меньше в 2-3 раза (рисунок 5.2.1в). В сопряженных разветвлениях, где один из рукавов может концентрировать до 80 % стока, размывы берегов наиболее активны. Особенности распределения стока по рукавам пойменно-русловых разветвлений зависят от их морфологии и водности года, приводя к тому, что темпы отступления берегов либо сопоставимы в них, либо могут отличаться 1,5-2 раза (рисунок 5.2.1г).

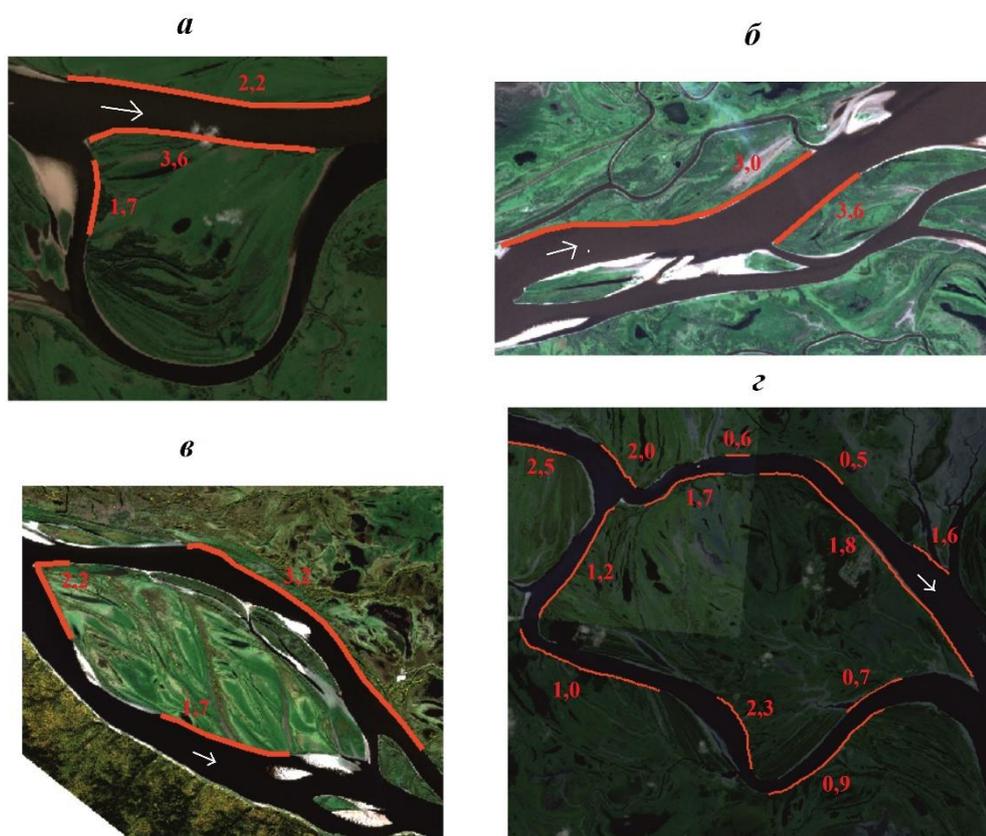


Рисунок 5.2.1 – Расположение фронтов и средние скорости размыва берегов в рукавах разветвлений различных типов на средней и нижней Оби: а – прорванная излучина, б – одностороннее разветвление, в – одиночное разветвление, г – пойменно-русловое разветвление

Иртыш (от устья р. Тары до слияния с р. Обью)

На нижнем Иртыше второстепенные заостровные протоки у выпуклых берегов излучин, на их крыльях или в привершинной части, маловодны (до 10, реже 20-30 % от

суммарного стока), вследствие чего размывы берегов в них обычно не превышают на Иртыше выше устья Тобола 1 м/год, ниже – 3 м/год (рисунок 5.2.2).



Рисунок 5.2.2 – Фронт размыва берегов на излучине с островом в ее привершинной части на нижнем Иртыше

Прорванные излучины, достигшие критических значений соотношения l/L , характеризуются сосредоточением как стока воды (до 97-98 %), так и размывов берегов (до 8 м/год) в новом, спрямляющем рукаве, тогда как бывшее основное русло постепенно отмирает и превращается в маловодную пойменную протоку, размывы в которой локальны, или старичное озеро. На петлеобразных излучинах, спрямившихся при встречном размыве берегов на их крыльях, в образовавшемся проране за счет поступления в него бóльшей части стока воды скорости размыва превышают 20 м/год (рисунок 5.2.3).



Рисунок 5.2.3 – Проран спрямленной в 2019 г. Укинской излучины на нижнем Иртыше (фото А.А. Камышева)

Другой тип русловых разветвлений – одиночные – характеризуются тем, что в основных рукавах, концентрирующих до 2/3 стока и образующих пологие излучины русла, огибающие острова, фиксируются скорости размыва вогнутых берегов, которые превышают часто 5 м/год. В односторонних разветвлениях во второстепенных маловодных

рукавах (не больше 7 % общего расхода) берега стабильные, тогда как в главном русле берега размываются со скоростью до 2-3 м/год.

Остальные реки Обь-Иртышского бассейна

Спрямяющие рукава в прорванных излучинах других рек Обь-Иртышского бассейна, становясь основными (до 80-85 % от общего расхода воды), активно развиваются (скорости размыва берегов достигают 4 м/год), тогда как в старых руслах с 15-20 % стока воды русловые деформации постепенно затухают и при превращении в старицу прекращаются. На участках, где река перемещается от одного борта долины к другому и иногда формируются пойменно-русловые разветвления с распределением стока в их рукавах в соотношении либо 1:1, либо с преимущественным развитием одного из них (до 80 %), скорости размыва берегов в обоих рукавах составляют 3-4 м/год [Сурков и др., 2018]. В раздвоенных руслах рек Кети, Ваха, Казыма и Конды наибольшие скорости размыва сосредоточены в основном по водоносности рукавах (до 60-70 % от общего стока). На р. Кети размывы пойменных берегов на излучинах широко распространены в левом, более многоводном рукаве – собственно Кети – со средней скоростью 1,7 м/год и максимальной – 3,6 м/год; в правом рукаве раздвоенного русла (Старая Кеть) средние и максимальные скорости размыва меньше – 1,3 и 2,1 м/год, соответственно, и распространены они локально (рисунок 5.2.4). На Вахе в правом, основном, рукаве средние и максимальные скорости – 1,7 и 2,2 м/год, соответственно, тогда как в левом – около 1 м/год. Для левого, основного по водоносности, рукава р. Казыма средняя скорость размыва берегов 1,8, максимальная – 4,9 м/год, в правом – протоке Сорумказым - 1,3 и 2,0, соответственно [Чалов, Куракова и др., 2022]. На р. Конде в главном русле (протока Конда) скорости размыва в среднем составляют 1 м/год, максимум – 1,7 м/год; во второстепенном (собственно Конда) – 1 и 1,3 м/год.



Рисунок 5.2.4 – Размывы берегов в рукавах раздвоенного русла р. Кети

5.3. Структура потока в руслах разного типа и гидравлические характеристики потока, их связь с размывами берегов

Скорость потока является основной гидравлической характеристикой, определяющей интенсивность размыва берегов при его воздействии на них. Полученные на основе измерений скоростные поля потока дают наиболее полную информацию о структуре потока на участках русла. Эти данные необходимы для понимания происходящих русловых переформирований, в т.ч. размывов берегов, прогноза русловых деформаций и обоснования мероприятия по управлению русловыми процессами.

В руслах разного типа динамика потока и распределение зон размыва берегов и аккумуляции имеют свои особенности. Относительно прямолинейные, неразветвленные русла формируются в условиях, достаточных для динамической устойчивости прямолинейного движения потока, которые на реках Обь-Иртышского бассейна обусловлены либо большой подвижностью побочней и осередков при двусторонней пойме (рисунок 5.3.1 А), либо наличием относительно выровненного в плане коренного берега, вдоль которого проходит русло, с одной стороны, и односторонней поймы, с другой (таковы нижняя Обь от слияния с р. Иртышом до с. Перегрёбного, нижний Иртыш на отдельных участках) (рисунок 5.3.1 Б), либо малым стоком наносов, что наблюдается в верхнем течении некоторых средних рек бассейна.

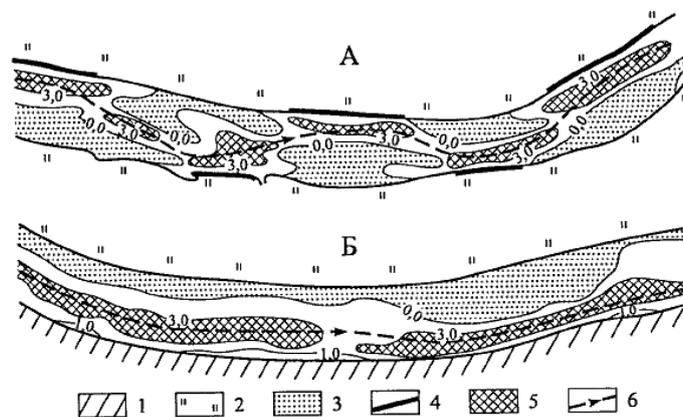


Рисунок 5.3.1 – Извилистость динамической оси потока в прямолинейном русле с шахматным расположением побочней (А), ее прямолинейность при сосредоточении потока вдоль коренного берега (Б) и расположение зон размыва берегов и аккумуляции наносов: 1 – коренной берег, 2 – пойма, 3 – прирусловые отмели, 4 – размываемые берега, 5 – плесовые лощины, 6 – стрежень потока [Чалов, 2011]

В первом случае (рисунок 5.3.1 А) динамическая ось потока под воздействием крупных побочней или осередков в русле отклоняется поочередно то к одному, то к другому

берегу, размывая его. При наличии относительно выровненного коренного берега во время половодья устанавливается поперечный перекося водной поверхности в сторону поймы (рисунок 5.3.1 Б), и происходит направленное воздействие потока на высокий берег, тогда как вдоль поймы происходит аккумуляция. Наличие выступов (мысов) коренного берега, развитие склоновых процессов (оползни или обвалы) оказывает направляющее воздействие на поток, отклоняя его в сторону поймы, приводя к ее активному размыву [Чалов, 2011].

На излучинах русла, излучинах рукавов раздвоенного русла или пойменно-руслевых разветлений вследствие распределения скоростей потока формируются зоны ускорения и замедления течения (рисунок 5.3.2).

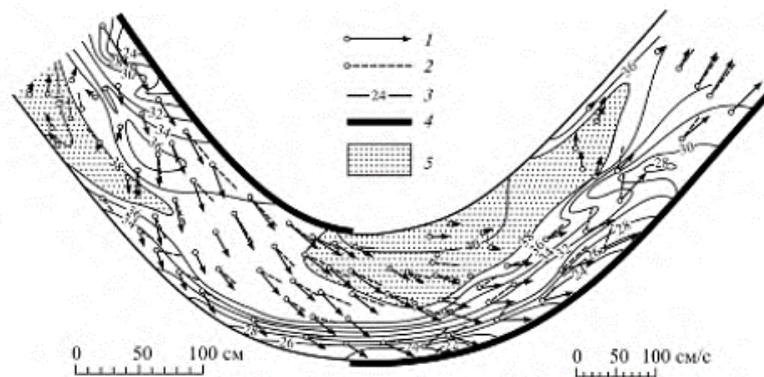


Рисунок 5.3.2 – Распределение скоростей, рельеф русла на излучине, расположение зон ускорения течения и размыва берегов: 1 – поверхностные скорости, 2 – донные траектории, 3 – горизонталы, см, 4 – зоны ускоренного течения у берегов и размывы берегов, 5 – прирусловые отмели (аккумуляция наносов) [Великанова, 1968; Чалов, 2011]

В верхнем крыле сегментных излучин наибольшие скорости течения сосредоточены у выпуклого берега, вызывая его размыв, тогда как у вогнутого берега находится зона замедленного течения, в котором происходит аккумуляция. В нижнем крыле ситуация меняется на противоположную: наибольшие скорости наблюдаются у вогнутого берега, приводя к его размыву, у выпуклого – зона замедления течения и аккумуляция наносов. В итоге происходит продольное смещение излучины. Неодинаковое распределение скоростей течения на излучине в совокупности с центробежной силой на изгибе русла приводит к поперечному перекося водной поверхности, что, в свою очередь, является причиной возникновения циркуляционных течений, донные ветви которых отклоняются на всем протяжении излучины в сторону выпуклого берега, перенося наносы (см. рисунок 5.3.2). По мере развития и искривления излучины роль поперечной циркуляции возрастает и на фоне выравнивания продольной и поперечной составляющих переноса наносов, последняя

начинает преобладать. В результате размыв распространяется на весь вогнутый берег, тогда как на протяжении всего выпуклого берега формируется зона аккумуляции (рисунок 5.3.3). В этом случае излучина приобретает поперечное направление смещения [Чалов, 2011].

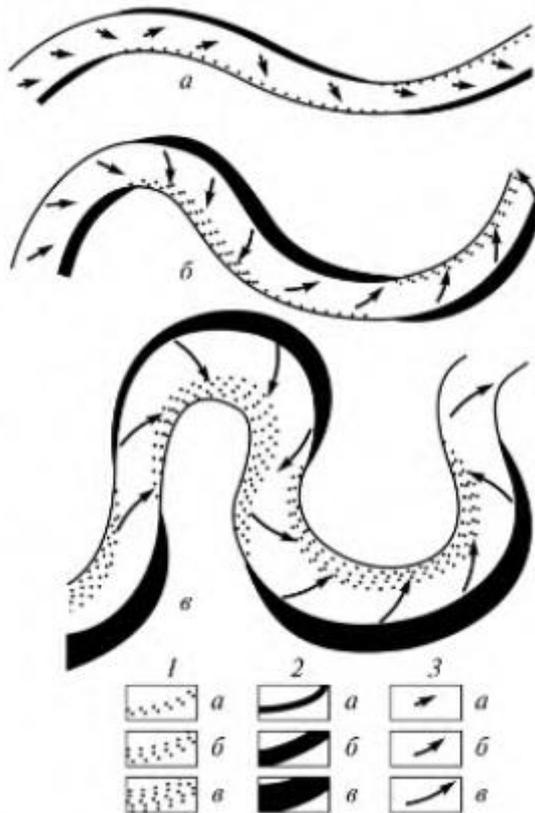


Рисунок 5.3.3 – Изменение интенсивности воздействия скоростного поля потока и циркуляционных течений на размывы берегов и аккумуляцию наносов по мере искривления излучины: а, б, в – пологая сегментная, развитая сегментная и петлеобразная излучины соответственно; 1 2, 3 – активность, аккумуляция наносов, размывы берегов и циркуляционных течений соответственно (а – слабая; б – средняя; в – сильная) [Чалов, 2011]

В русловых (островных) разветвлениях изгибы рукавов во многом подобны излучинам русла, и расположение зон ускорения и замедления течения, к которым приурочены, соответственно, размывы берегов и аккумуляция наносов, имеют одинаковые причины возникновения (рисунок 5.3.4).

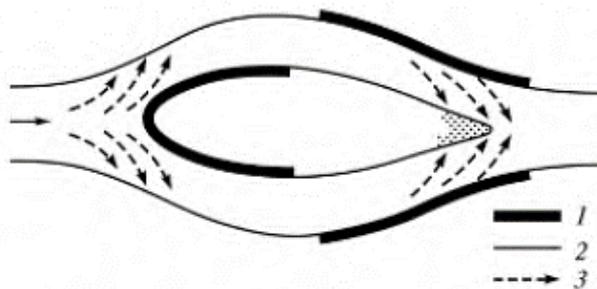


Рисунок 5.3.4 – Схема расположения зон ускорения (размыв) (1) и замедления (аккумуляция) (2) течения и направления донных струй потока (3) в симметричном разветвлении русла [Чалов, 2011]

Продольное распределение скоростей течения и циркуляционные течения приводят к тому, что оголовки острова размываются, тогда как противоположные ему берега наращиваются вследствие аккумуляции наносов; в нижней части разветвления аккумуляция наносов наблюдается в устье острова, противоположные острову берега размываются.

В ходе экспедиционных исследований летом в многоводную фазу водного режима 2019-2021 гг были получены данные о распределении скоростей течения в различных типах русла на средней и нижней Оби и на нижнем Иртыше, которые сравнивались с расположением фронтов размыва берегов. На нижнем Иртыше был рассмотрен относительно прямолинейный, неразветвленный участок – Нижний Филинский (по названию расположенного здесь переката) на 219-214 км (рисунок 5.3.5). На данном участке русло расширяется до 1 км, вследствие чего здесь происходит аккумуляция наносов и формирование переката. У левого берега сформировался крупный побочень, под влиянием которого стрежень потока переваливает к правому берегу, вызывая его размыв со средней скоростью 1,7 м/год. В пределах стрежневой зоны потока скорости течения в половодье изменяются от 0,8 до 1 м/с.

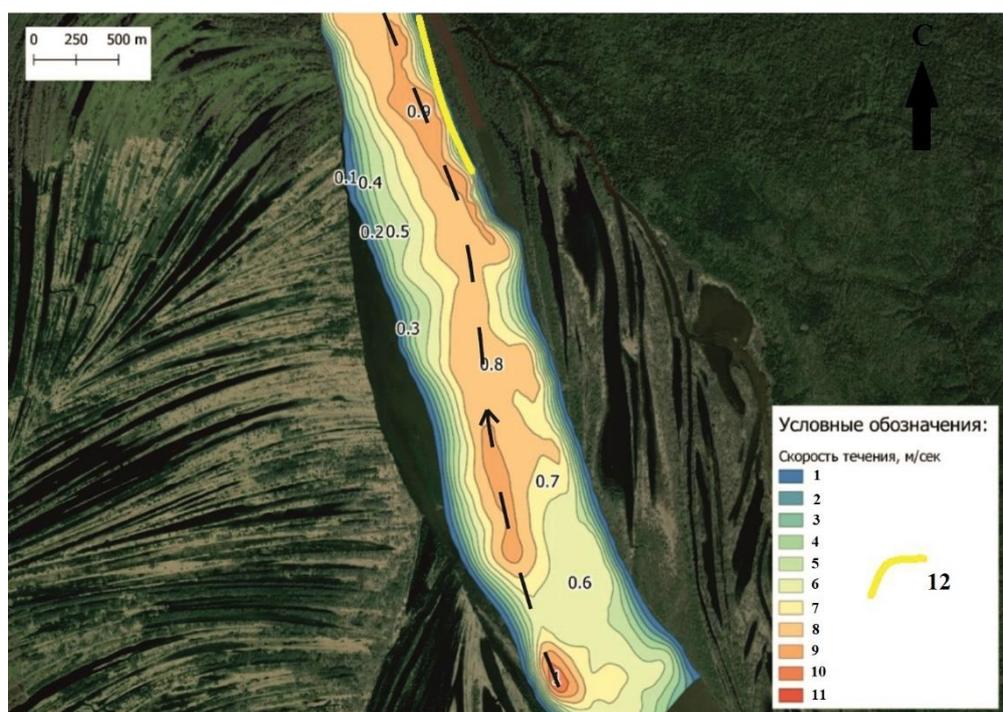
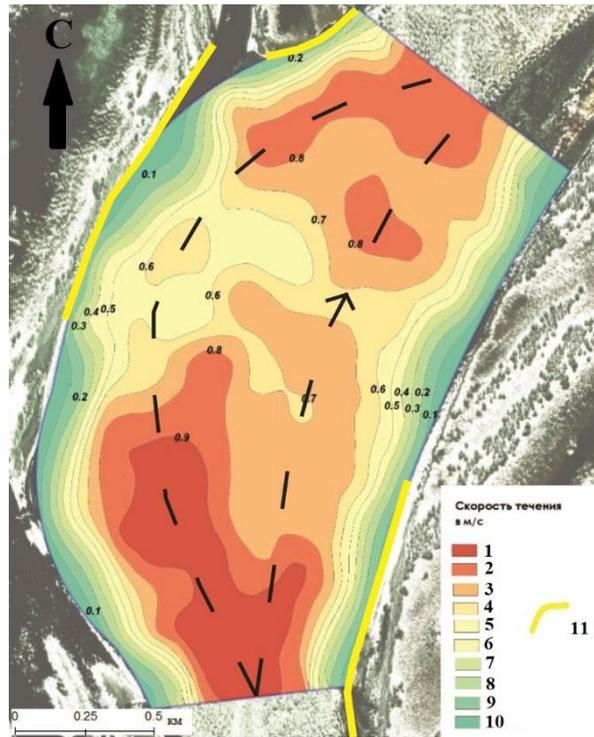


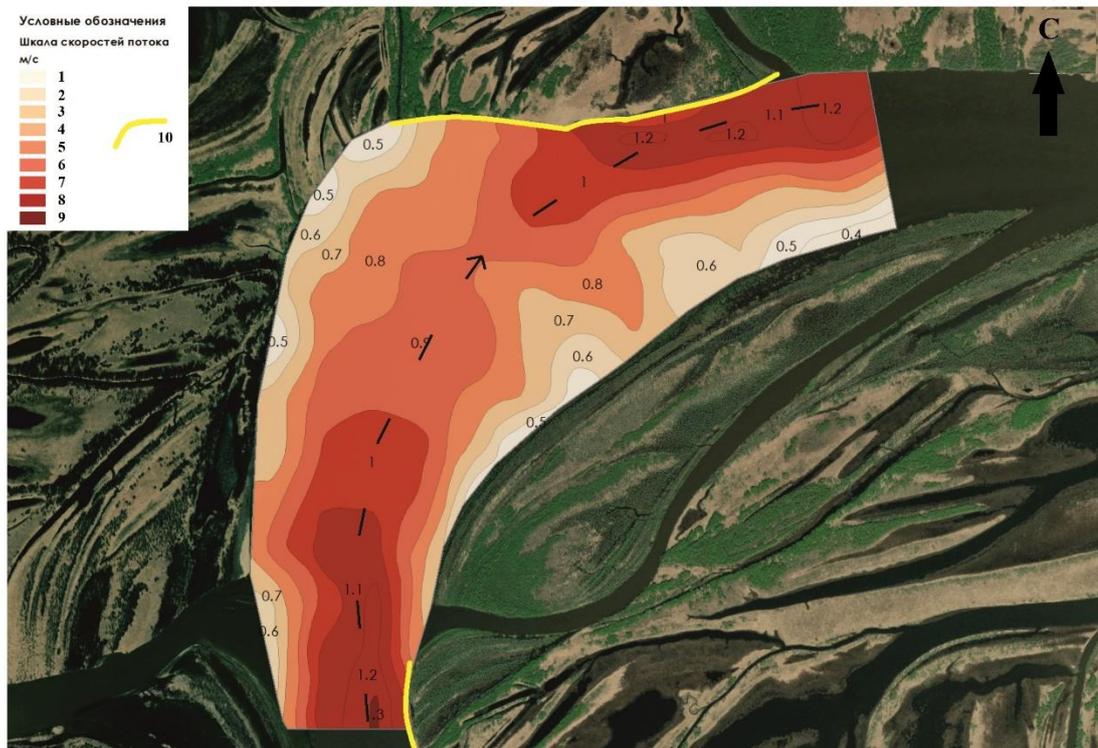
Рисунок 5.3.5 – Скоростное поле потока и положение фронтов размыва (12) на относительно прямолинейном, неразветвленном участке русла нижнего Иртыша (основано на данных, обработанных А.А. Камышевым). 1 – 0,1 м/с, 2 – 0,2 м/с, 3 – 0,3 м/с, 4 – 0,4 м/с, 5 – 0,5 м/с, 6 – 0,6 м/с, 7 – 0,7 м/с, 8 – 0,8 м/с, 9 – 0,9 м/с, 10 – 1,0 м/с, 11 – 1,1 м/с

Некоторые крутые излучины рукавов раздвоенного русла нижней Оби, нижнего Иртыша, других меандрирующих рек достигают критических значений степени развитости, приводя к нарушению условия безотрывного обтекания берегов (правило Миловича) – $r < 3b_p$. В результате у вогнутых берегов таких излучин образуются водоворотные зоны, в которых происходит аккумуляция наносов, а стрежень потока смещается к выпуклому, размывая его. Это сопровождается местным расширением русла в вершине излучине [Чалов и др, 2004]. Иногда это приводит к разделению потока на ветви, проходящие вдоль выпуклого и вогнутого берегов с образованием между ними осередка (рисунок 5.3.6 А). В этом случае размыв выпуклого берега продолжается, но осередки со временем превращаются в острова, формируя разветвление и рассредоточение стока в вершине излучины.

А



Б



В

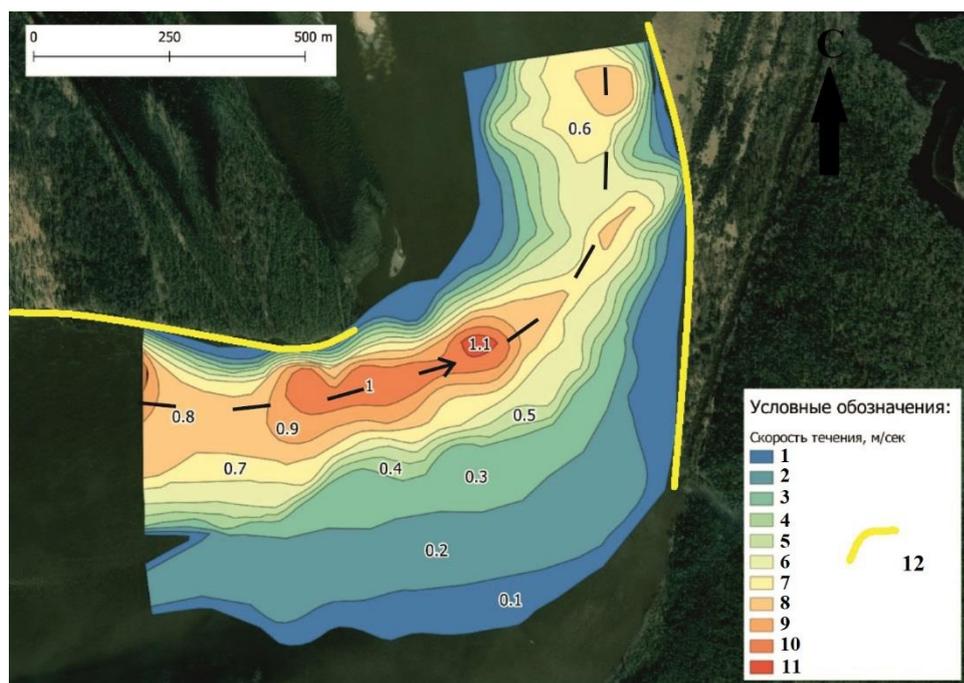


Рисунок 5.3.6 – Скоростные поля потока и положение фронтов размыва берегов на Войкарской излучине Малой Оби, 438-435 км (А), Кочевской излучине Малой Оби, 734-726 км (Б), Кировском «повороте» нижнего Иртыша, 110-106,5 км (В) (основано на данных, обработанных А.А. Камышевым). А: 1 – $>0,9$ м/с, 2 – $0,8-0,9$ м/с, 3 – $0,7-0,8$ м/с, 4 – $0,6-0,7$ м/с, 5 – $0,5-0,6$ м/с, 6 – $0,4-0,5$ м/с, 7 – $0,3-0,4$ м/с, 8 – $0,2-0,3$ м/с, 9 – $0,2-0,1$ м/с, 10 – $<0,1$ м/с; 11 – фронт размыва; Б: 1 – $<0,4$ м/с, 2 – $0,5-0,6$ м/с, 3 – $0,6-0,7$ м/с, 4 – $0,7-0,8$, 5 – $0,8-0,9$, 6 – $0,9-1,0$, 7 – $1,0-1,1$, 8 – $1,1-1,2$, 9 – $>1,2$; 10 – фронт размыва; В: 1 – $0,1$, 2 – $0,2$, 3 – $0,3$, 4 – $0,4$, 5 – $0,5$, 6 – $0,6$, 7 – $0,7$, 8 – $0,8$, 9 – $0,9$, 10 – $1,0$, 11 – $1,1$; 12 – фронт размыва.

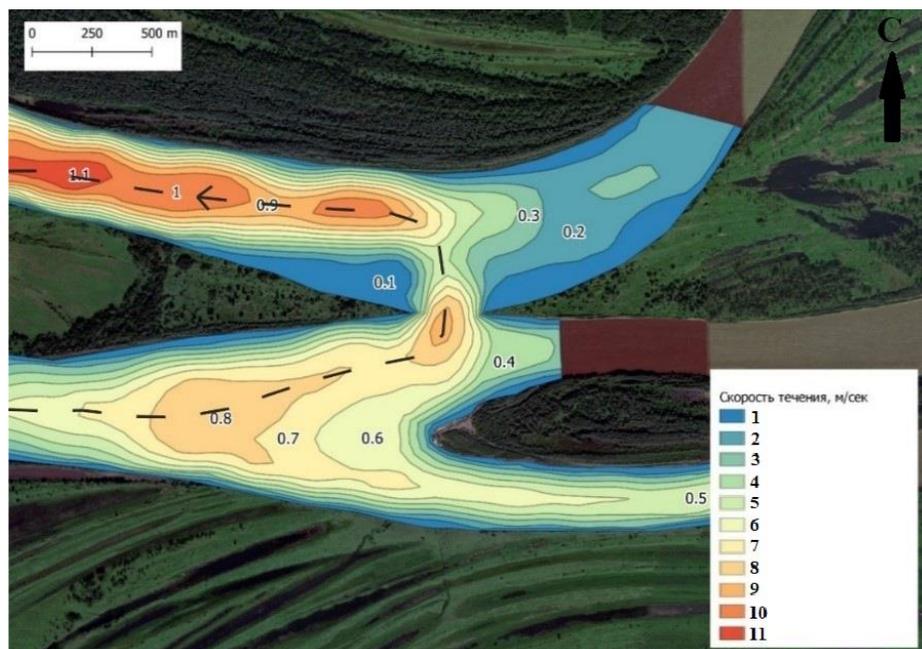
На исследованных излучинах водоворотные зоны явно не выявляются, но в их вершинах прослеживается смещение стрежня потока от вогнутых берегов к выпуклым, где наблюдается фронт размыва. В то же время происходит снижение скоростей потока в 2 раза (Кочевская излучина, рисунок 5.3.6 Б) и даже в 10 раз (Кировский «поворот», рисунок 5.3.6 В), где происходит аккумуляция наносов. Это обусловлено различием параметров излучин: Кочевская излучина имеет $l/L=1,56$, а $r=1650$ м, Кировский «поворот» – $2,02$ и 1000 м, соответственно. Скорости течения в стрежневых зонах на данных излучинах достигают $1-1,2$ м/с, скорости отступления пойменных яров составляют от 2 м/год на Малой Оби до $6,6$ м/год на Иртыше (водоносность Малой Оби несколько меньше Иртыша).

При расширении русла в 2 раза в привершинной части (по отношению к верхнему крылу) происходит снижение транспортирующей способности потока, что приводит к

аккумуляции наносов и формированию осередка, обуславливающего рассредоточение стока и разделение динамической оси потока на две ветви, как это произошло на Войкаровской излучине Малой Оби (рисунок 5.3.6 В), где скорость течения на стрежне достигает 1 м/с. В результате наблюдаются размывы как выпуклого, так и вогнутого берегов со скоростью 1-2 м/год. Столь небольшие темпы размыва берегов на таких экстремально крутых излучинах связаны со снижением скорости потока у вогнутого берега и субпараллельностью стрежня потока линии выпуклого берега, который он обтекает.

На нижнем Иртыше в 2019 г. произошло спрямление Укинской петлеобразной излучины (рисунок 5.3.7). Это привело к кардинальной перестройке структуры потока, т.к. основной сток воды и наносов направляется в образовавшийся проран. Динамическая ось потока сместилась к левому берегу в направлении прорана по линии наибольшего уклона, а непосредственно в проране наблюдается увеличение скоростей течения в половодье до 0,9 м/с (рисунок 5.3.7 А). Это приводит к расширению прорана с максимальными скоростями размыва до 20,9 м/год (рисунок 5.3.7 Б). Размывы правого берега в Укинской протоке обусловлены сравнительно высокими скоростями течения (до 0,6 м/с). Ниже прорана скорости течения достигают своих максимальных значений до 1,1 м/с, что способствует отступанию берегов в нижнем крыле излучины со скоростью в среднем 1,8-2,3 м/год (максимум – 4,4 м/год). При этом происходит смена расположения фронтов размыва ниже прорана. Если до спрямления излучины вдоль правого берега происходила аккумуляция наносов, то после прорана берег стал интенсивно размываться, так как поток из прорана направляется к нему под углом 90°.

А



Б

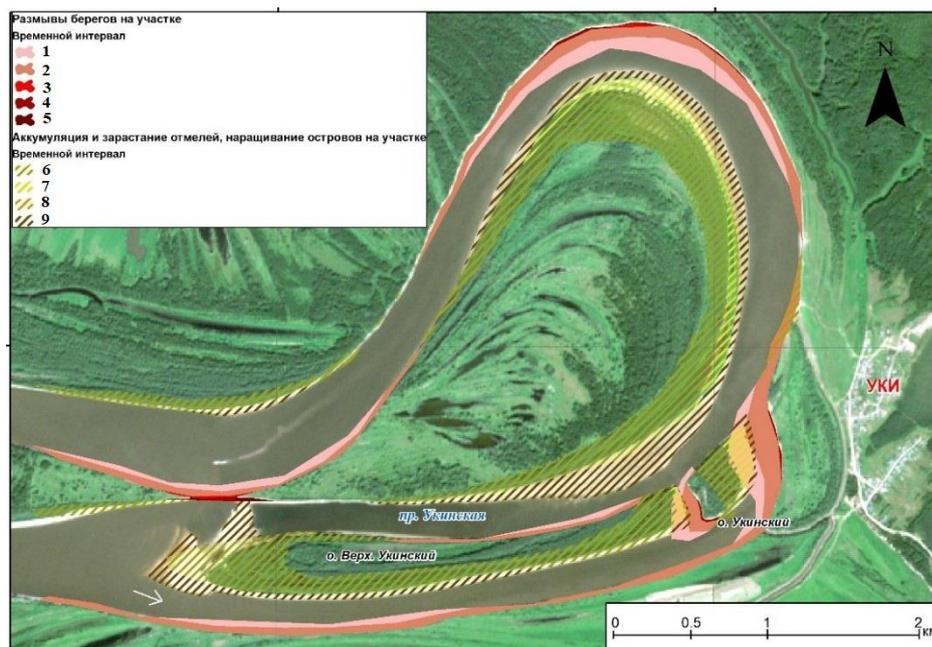


Рисунок 5.3.7 – Скоростное поле потока (А) и размыты берегов за разные годы (Б) на спрямленной Укинской излучине нижнего Иртыша (511,5-496 км) (основано на данных, обработанных А.А. Камышевым).

А: 1 – 0,1 м/с, 2 – 0,2 м/с, 3 – 0,3 м/с, 4 – 0,4 м/с, 5 – 0,5 м/с, 6 – 0,6 м/с, 7 – 0,7 м/с, 8 – 0,8 м/с, 9 – 0,9 м/с, 10 – 1,0 м/с, 11 – 1,1 м/с

Б: 1 – 1987-2001 гг, 2 – 2001-2017 гг, 3 – 2018-2018 гг, 4 – 2018-2019 гг, 5 – 2019-2020 гг, 6 – 1987-2001 гг, 7 – 2001-2017 гг, 8 – 2017-2018 гг, 9 – 2019-2020 гг

На излучине средней Оби при заходе в левый рукав Канеровского пойменно-руслового разветвления из-за поступления большого количества наносов с размываемого непосредственно выше правого коренного берега вписанной Колпашевской излучины произошло формирование осередка, разделившего поток на две части (рисунок 5.3.8). Основной сток воды проходит справа от осередка с максимальной скоростью течения до 1,2 м/с. При этом в нижнем крыле излучины, там, где поток вновь объединяется, скорость течения резко увеличивается до 1,8 м/с, обуславливая интенсивный размыв вогнутого берега с максимальной скоростью 6,7 м/год.

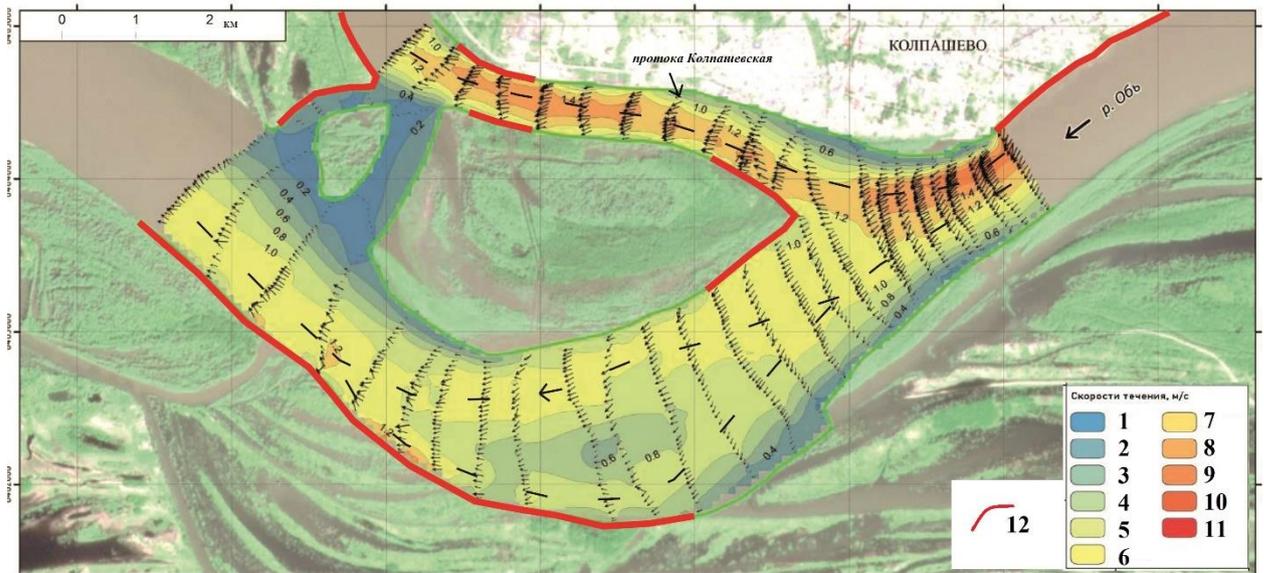


Рисунок 5.3.8 – Скоростное поле и расположение фронтов размыва берегов на излучине средней Оби (1252-1259 км) (основано на данных, обработанных П.П. Головлевым)
 1 – $<0,2$ м/с, 2 – $0,2-0,4$ м/с, 3 – $0,4-0,6$ м/с, 4 – $0,6-0,8$ м/с, 5 – $0,8-1,0$ м/с, 6 – $1,0-1,2$ м/с, 7 – $1,2-1,4$ м/с, 8 – $1,4-1,6$ м/с, 9 – $1,6-1,8$ м/с, 10 – $1,8-2,0$ м/с, 11 – $>2,0$; 12 – фронт размыва

За последние два десятилетия произошло развитие Колпашевской протоки, куда уходит в половодье почти 40 % стока, а скорости течения составляют от 1,6 до 2,0 м/с, что приводит к активному размыву берегов (средняя скорость – 2-3 м/год, среднемаксимальная – 4 м/год).

При разветвлении Малой Оби на два рукава – прямое продолжение Малой Оби и поперечного рукава – протоки Большой Нюрик, забирающего 42 % ее стока, динамическая ось потока разделяется на две ветви (рисунок 5.3.9). При этом скорости на стрежне потока Малой Оби и протоки Большой Нюрик достигают 1,2 и 1 м/с, соответственно. Это отражается как в активном размыве раздельной стрелки (1-3 м/год), так и берегов Малой Оби (от 3,7 до 6,3 м/год, максимум – 10,7 м/год) и при заходе в протоку Большой Нюрик – от 2,4 до 3,6 м/год.

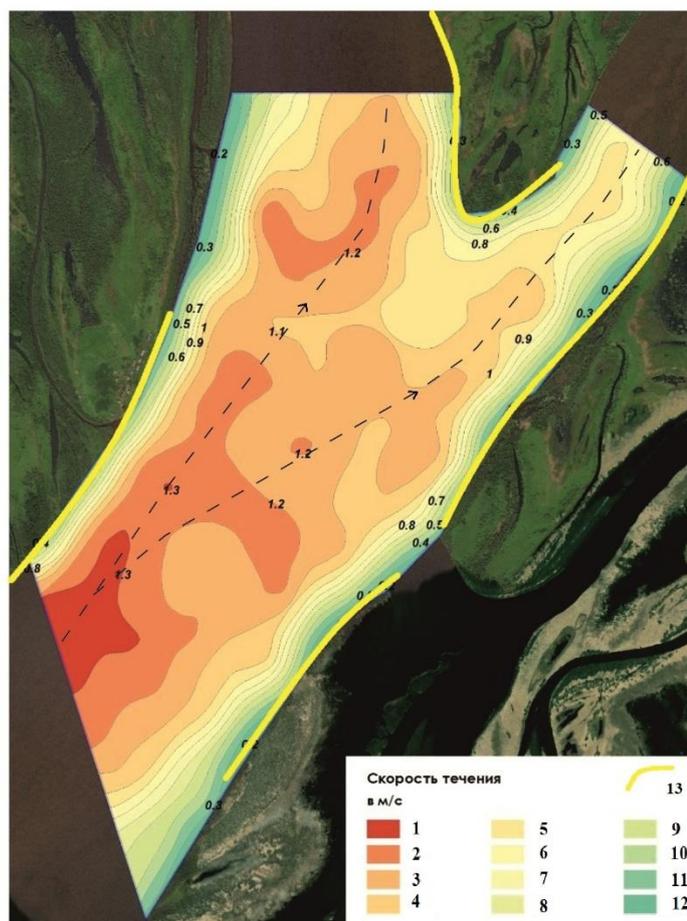


Рисунок 5.3.9 – Скоростное поле потока и расположение фронтов размыва берегов (1) на разделении Малой Оби и протоки Большой Нюрик (637 км) (основано на данных, обработанных А.А. Камышевым). 1 – $>1,2$ м/с, 2 – $1,1-1,2$ м/с, 3 – $1,0-1,1$ м/с, 4 – $0,9-1,0$ м/с, 5 – $0,8-0,9$ м/с, 6 – $0,7-0,8$ м/с, 7 – $0,6-0,7$ м/с, 8 – $0,5-0,6$ м/с, 9 – $0,4-0,5$ м/с, 10 – $0,3-0,4$ м/с, 11 – $0,2-0,3$ м/с, 12 – $<0,2$ м/с; 13 – фронт размыва

На нижней Оби (между устьем Иртыша и с. Перегрёбное) в местном расширении русла длиной 350 км (в 2 раза по сравнению с соседними участками) сформировалось параллельно-рукавное русло, в котором между рукавами практически равное распределение расходов, а сам поток разделяется на две ветви – правую, проходящую вдоль правого коренного берега с относительно выровненными очертаниями, и левую вдоль левобережной поймы со скоростями на стрежне 1 и 1,2 м/с, соответственно (рисунок 5.3.10). В связи с тем, что наибольшие скорости течения сосредоточены вдоль легкоразмываемого левого пойменного берега, скорости его отступления составляют в среднем 2,8 м/год (максимальная – 3,7 м/год), обуславливая дальнейшее расширение русла (при практически стабильном правом коренном берегу).

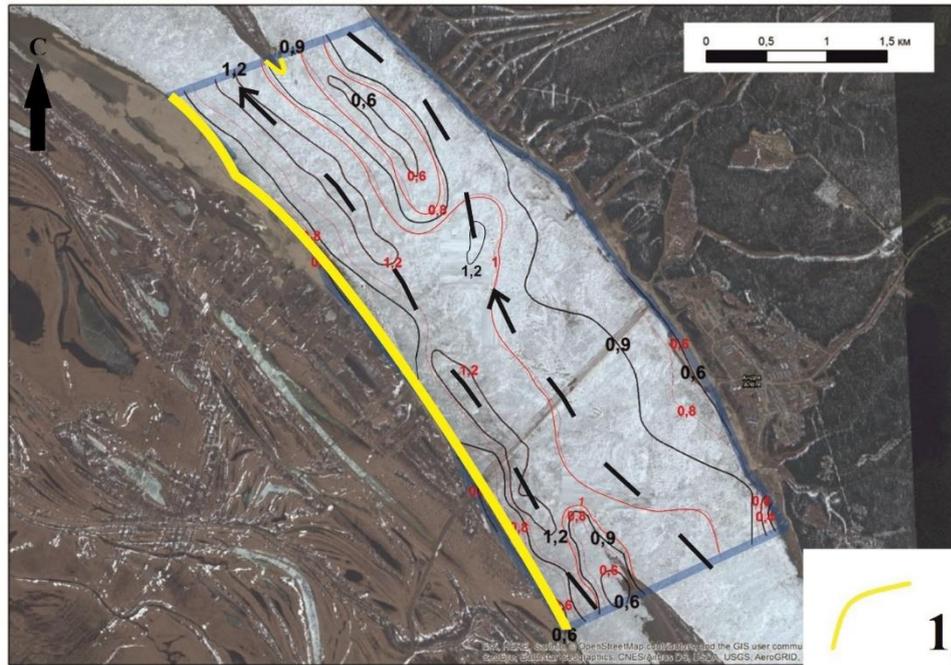


Рисунок 5.3.10 – Скоростное поле потока и расположение фронтов размыва берегов (1) в параллельно-рукавном Низямском разветвлении (910-890 км) нижней Оби (основано на данных, обработанных А.А. Камышевым)

Глава 6. Деформации русел как форма проявления опасности русловых процессов на реках бассейна

6.1. Русловые деформации как фактор опасных проявлений русловых процессов

Переформирования русла средней и нижней Оби

Для средней и нижней Оби одной из главных форм проявления переформирований русла является развитие излучин русла и излучин рукавов разветвлений, направленное изменение их параметров в результате размывов одних берегов, что представляет как потенциальную, так и реальную угрозу из-за утраты части территории еще неосвоенной, в первом случае, и разрушения инженерных и коммунальных объектов и коммуникаций, в втором, и «намывов» других, вызывая обмеление водных путей, водозаборов и акваторий, используемых в хозяйственных целях. Так, русло Малой Оби – рукава раздвоенного русла нижней Оби – преимущественно меандрирующее, и основные русловые деформации его связаны с излучинами, которые имеют продольное, продольно-поперечное и поперечное смещение, что приводит к их искривлению и изменению параметров (увеличение степени развитости l/L и уменьшение радиусов кривизны r). У многих крутых излучин нарушено условие безотрывного обтекания потоком берегов – правило Миловича ($r < 2,5-3b_p$), когда его динамическая ось смещена к выпуклому берегу и происходит его размыв, а у вогнутых берегов формируется водоворотная зона, где происходит аккумуляция наносов (рисунок 6.1.1). Обычно это значительно затрудняет судоходство, но в других случаях обмеление акватории у вогнутого берега может привести к осложнениям в работе водозаборов, если таковые здесь располагаются.

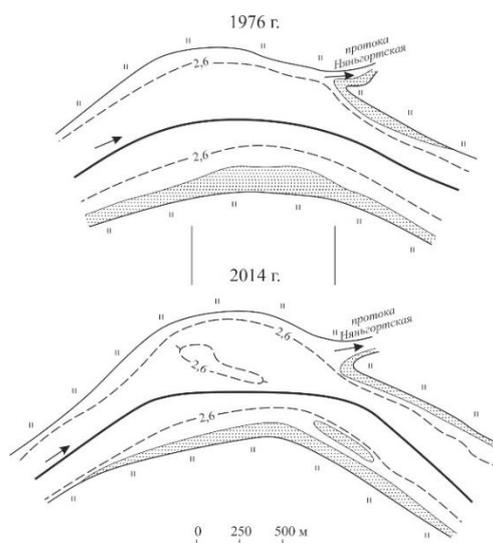


Рисунок 6.1.1 – Деформации на Войкаровской излучине Малой Оби на 438-435 км при нарушении на ней правила Миловича (линией показано положение судового хода)

Реальная угроза размыва берегов проявляется для двух населенных пунктов на Малой Оби - Устрем и Теги (рисунок 6.1.2). Средние скорости отступления берегов здесь колеблются от 3,6 до 5,3 м/год, приводя к утрате значительной части территорий этих населенных пунктов.

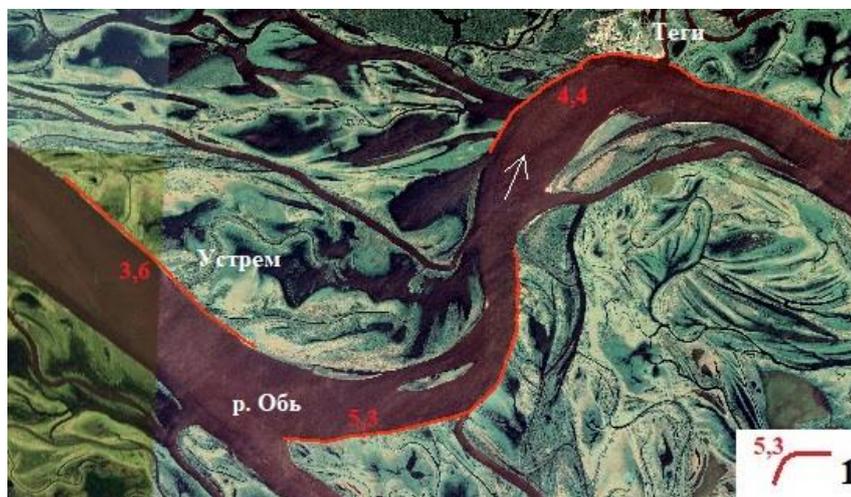


Рисунок 6.1.2 – Деформации на излучинах Малой Оби (640-622 км): 1 – фронт и скорость размыва берегов

Иногда, достигая критических значений ($l/L \approx 1,6$), образуются прорванные излучины путем формирования во время половодья в пониженной тыловой части пойменной шпory спрямляющей протоки, забирающей значительную часть общего стока воды и расширяющейся за счет активных размывов берегов в ней; старое русло постепенно мелеет, русловые деформации затухают, или со временем оно отмирает, превращаясь в пойменное озеро или залив – «курью». Например, развитие спрямляющего рукава Михайловской излучины (рисунок 6.1.3) и постепенная трансформации ее в одиночное разветвление (остров размывается со скоростью 2,8-5,3 м/год, правый берег основного рукава, имеющего бóльший расход воды – 4,4 м/год) может дать импульс для образования прорванной Коломенской излучины ниже по течению, что приведет к кардинальной перестройке русла реки (в левом рукаве, куда направляется основной расход воды средние скорости размыва достигают 5,8 м/год). При этом спрямляющий рукав продолжает активно развиваться, скорости отступления берегов в нем колеблются от 3,5 до 5,6 м/год; на всем участке размывы берегов несут потенциальную опасность, но в привершинной части Коломенской прорванной излучины проявляется реальная опасность для с. Коломино



Рисунок 6.1.3 – Михайловская и Коломенская порванные излучины на 1161-1178 км: 1 – фронт и скорость размыва берегов

В XX веке на средней Оби произошло образование двух порванных излучин (1547-1640 и 1318-1313 км), в которых происходило активное развитие спрямляющих рукавов с достаточно высокими темпами русловых деформаций (до 3,6 м/год), что влечет за собой перестройку русла и поступление большого количества наносов в поток. Последнее, в свою очередь, оказывает влияние на условия судоходства, т.е. является причиной обмеления нижерасположенного переката. В то же время спрямление излучины (рисунок 6.1.4) обеспечивает сокращение длины судового хода и уменьшения время, которое тратится на перевозку грузов и пассажиров.

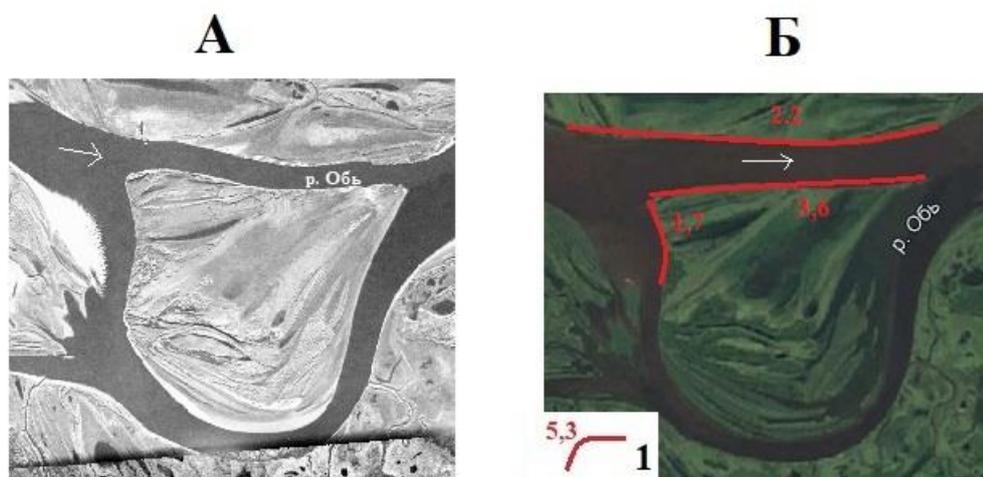


Рисунок 6.1.4 – Сахалинская порванная излучина на 1318-1313 км: А – 1970 г, Б – 2020 г: 1 – фронт и скорость размыва берегов

Активные переформирования на Горной Оби отмечаются при отступании от реки коренного берега, появлении правобережной поймы и общем расширении днища долины

(пойма+русло). Здесь появляется раздвоенное русло, рукава которого меандрируют, излучины имеют продольное и продольно-поперечное смещение, сопровождаясь активными размывами берегов. На этом участке русла Горной Оби произошло образование прорванной Чуэльской излучины на 689-686,5 км с активным развитием спрямляющего рукава (средние скорости размыва 1,9 м/год – расходы воды в этих рукавах еще меньше, чем в старом русле), тогда как в другом рукаве (старом русле – крутая сегментная излучина), куда идет значительная часть стока, скорости больше – до 4 м/год (рисунок 6.1.5 А). В двух других прорванных излучинах, находящихся выше по течению, старое русло продолжает получать большую часть стока за счет направляющего воздействия крупных мысов коренного берега; в нем сосредотачиваются основные размывы берегов со скоростью до 2,6 м/год, в отличие от спрямляющих рукавов, имеющих заход от русла почти под прямым углом и относительно прямолинейное русло, размыв берегов в них незначителен (рисунок 6.1.5 Б). В данном случае опасность потенциальная для прибрежных территорий и реальная для судоходства из-за поступления большого количества наносов и формирования перекатов ниже по течению.

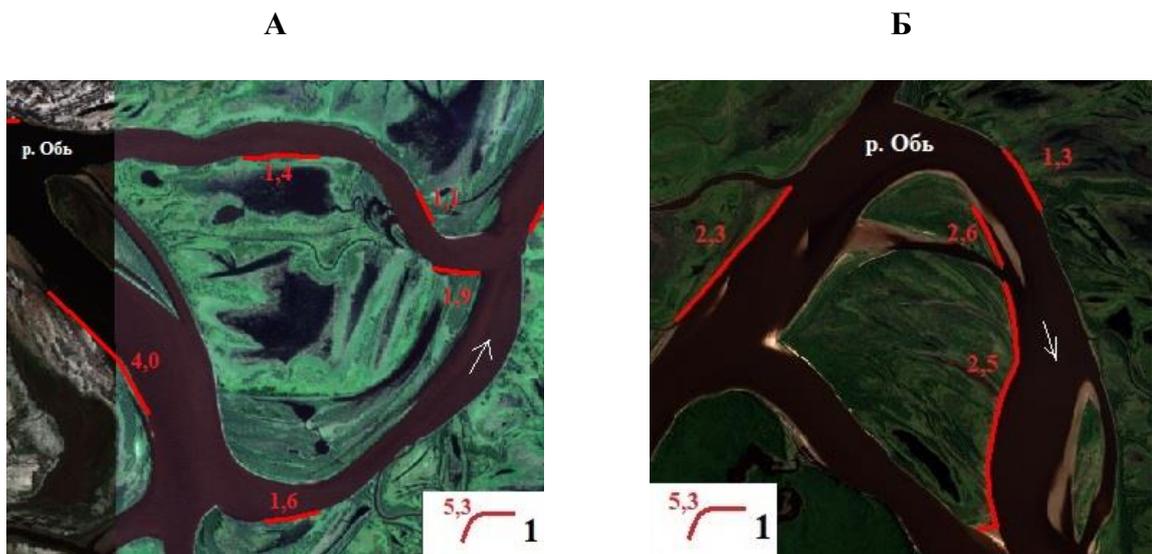


Рисунок 6.1.5 – Прорванные излучины Горной Оби: А – Чуэльская на 689-685,5 км, Б – Пугорская на 775-762 км: 1 – фронт и скорость размыва берегов

По мере развития изгиба русла и увеличения размыва берегов, особенно в вершине излучины и в нижнем крыле, излучина приобретает форму заваленной (термин Н.И. Маккавеева [1971]). При этом размыв не компенсируется аккумуляцией наносов у выпуклого берега, что приводит в конечном итоге к местному расширению русла и дополнительной аккумуляции наносов. Возникающие в местном расширении осередки при зарастании превращаются в острова, обуславливая рассредоточение стока не только в

межень, но и половодье. Изменение размеров и конфигурации островов, их объединение и отмирание межостровных протоков – все это оказывает влияние на развитие рукавов, их углубление или, наоборот, обмеление и отмирание. В связи с этим могут наблюдаться тенденции к смене типа русла, например, трансформация одностороннего разветвления в одиночное, как это произошло в Сарафановском разветвлении (1154-1161 км) (рисунок 6.1.6), где оголовок острова размывается со скоростью 2,3 м/год, и расширяется межостровная протока, которая превращается постепенно в рукав одиночного разветвления. Все это находит отражение в условиях судоходства, в данном конкретном случае – на транспортную доступность населенного пункта: возникает реальная угроза для с. Обского, где в результате размыва берегов и общих переформирований происходит формирование вторичного разветвления, осложняющего водный подход к нему.



Рисунок 6.1.6 – Сарафановское разветвление на 1154-1161 км: А – 1985 г, Б – 2021 г: 1 – фронт и скорость размыва берегов

Значительные русловые переформирования могут быть характерны и для относительно прямолинейного, неразветвленного русла средней Оби с последующей его трансформацией в другой морфодинамический тип – разветвления. Так, аккумуляция наносов и образование осередков, приводящих к формированию элементарных островов, в том числе за счет отчленения прибрежных отмелей побочными протоками, приводят к изгибу потока, возникающего при их обтекании, и подходе потока к берегам под большим углом, вызывая размыв берегов и образование местного расширения русла. Это прослеживается на участке от 1713 до 1737 км, где произошло формирование системы сопряженных разветвлений (рисунок 6.1.7).



Рисунок 6.1.7 – Сопряженное разветвление на 1713 до 1737 км: 1 – фронт и скорость размыва берегов

В данном случае имеет место потенциальная опасность, которая заключается только в осложнении условий судоходства, корректировке судового хода и обмелении перекатов ниже зон размыва, на которых темпы колеблются от 2,6 до 4,0 м/год.

Излучины рукавов русловых разветвлений (одиночных или сопряженных) при их развитии сохраняют преимущественно пологую форму. Важную роль в развитии или отмирании рукавов играют побочни, надвигающиеся на заходы в них с вышерасположенных участков русла. Это произошло, например, в одиночном Лобановском (1587-1578 км) и сопряженном Коммунарском-Покурском (1630-1610 км) разветвлениях. В последнем разветвлении раньше судовый ход проходил по левому рукаву в верхнем звене и правом рукаве в нижнем, но в настоящее время произошло перераспределение стока между рукавами в результате очередного цикла формирования и надвижения побочней на заход в правый рукав. Это повлияло на восстановление распределения стока воды в рукавах по правилу «восьмерки» [Проектирование...,1964], которое присуще остальным двум участкам с сопряженными разветвлениями на средней Оби (рисунок 6.1.8). В целом для данного участка опасность потенциальна за исключением участка вблизи с. Покур. При очередном цикле развития разветвления и перехода основного расхода снова в его левый рукав в верхнем звене, размыв берега может активизироваться и привести к угрозе разрушения села, располагающегося на вогнутом берегу излучины левого рукава в начале нижнего крыла.



Рисунок 6.1.8 – Коммунарское-Покурское разветвление на 1630-1610 км

Развитие излучин в результате размыва берегов на них является также основной формой переформирования рукавов пойменно-русловых разветвлений. Так, на Кривошеевском пойменно-русловом разветвлении (1049-1074 км) основной сток проходит по правому более кроткому рукаву с тремя пологими излучинами (степень развитости излучин с 1980-х гг. по 2011 гг. изменилась с 1,11-1,39 до 1,17-1,48), на которых средние скорости размыва берегов не превышают 2,3 м/год; левый рукав с меньшими расходами воды сильно искривлен и образует пять преимущественно крутых излучин (l/L изменилась с 1,54-1,98 до 1,57-2,04 с 1980-х гг. по 2011 гг.), смещающихся со скоростью от 2,2 до 3,8 м/год и имеющих большую протяженность размываемых берегов (рисунок 6.1.9). Но на данном участке размывы берегов представляют только потенциальную угрозу, которые могут повлиять на условия судоходства, в то время как населенным пунктам, стоящим на левом коренном берегу, ничего не угрожает.

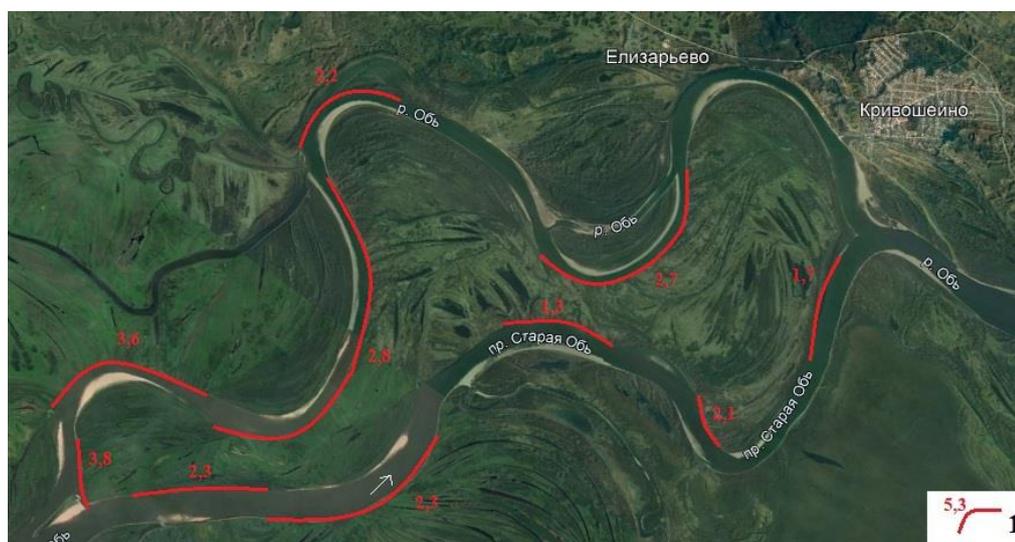


Рисунок 6.1.9 – Кривошеевское пойменно-русловое разветвление на 1049-1074 км: 1 – фронт и скорость размыва берегов

В среднем течении Оби встречаются сложные трехрукавные пойменно-русловые разветвления. В них в основном получает развитие центральный рукав, тогда как остальные два продолжают свое развитие или имеют тенденцию к обмелению. Большую роль в этом играют пойменные протоки между рукавами, обеспечивающие перераспределение расходов воды между рукавами, определяя в них интенсивность русловых деформаций [Чалов, Камышев, Завадский, Куракова, 202]. Так, в Сытоминско-Салымском разветвлении до 60-х гг. XX века основными рукавами были правый и левый, образуя каждый по несколько излучин, но к 1980 г. развитие получил центральный спрямляющий рукав (его ширина возросла с 200 до 500 м), тогда как заход в левый рукав сузился ввиду зарастания крупного побочня и превращения последнего в молодую пойму (рисунок 6.1.10). Это нашло отражение в русловых деформациях: размывы берегов в бывшем левом судоходном рукаве по средним скоростям не превышают 2,3 м/год, а их протяженность одна из минимальных; при этом правый рукав также характеризуется не очень высокими темпами отступления берегов – от 1,2 до 4,8 м/год. Для центрального рукава в связи с его активным развитием наблюдаются наибольшие средние скорости размыва – до 6,5 м/год, а относительная протяженность фронта размыва составляет около 50 % длины рукава. Если в целом для узла опасность является потенциальной, то на участке реки у с. Сытомино она становится реальной в связи с размывом берега со скоростью 3,5 м/год (26 % длины береговой линии в пределах населенного пункта).



Рисунок 6.1.10 – Сытоминское-Салманское сложное трехрукавное пойменно-русловое разветвление на 1348-1322 км: 1 – фронт и скорость размыва берегов

На Малой Оби имеется три пойменно-русловых разветвления, одно из которых является типичным для реки (рисунок 6.1.11 А), сформированном при перемещении реки от одного борта долины к другому. В двух других – Межьюрско-Нарыкарском (820-800 км) и Лапорско-Новинском (757-748 км) – при размыве вогнутых берегов излучин, образовании в результате этого «проранов» между главным руслом и пойменными протоками и поступлении в последние значительной части стока привело к превращению пойменных проток в рукава разветвлений и полной перестройке русла на участке (рисунок 6.1.11 Б).

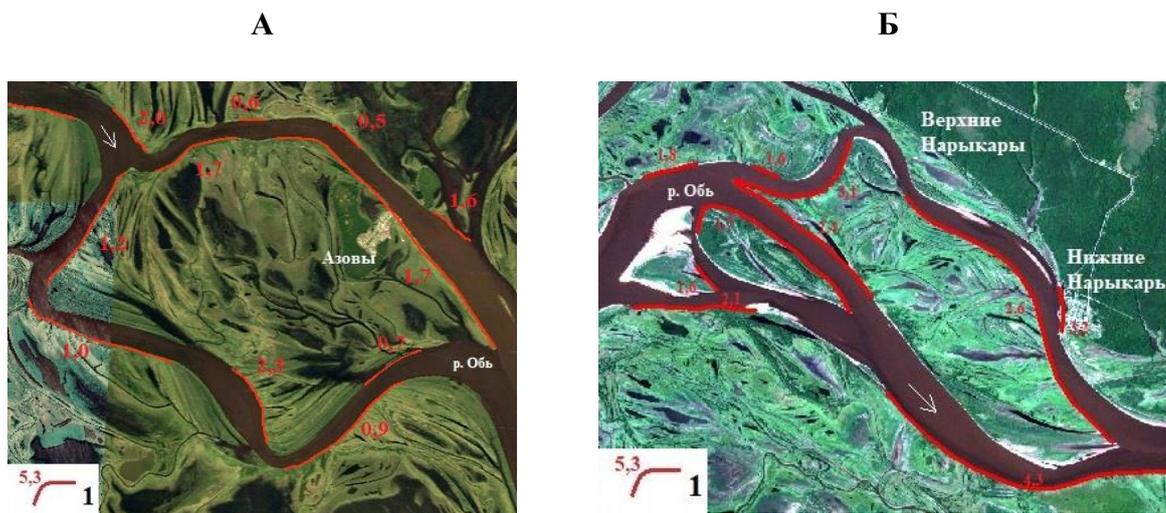


Рисунок 6.1.11 – Пойменно-русловые разветвления Оби: А – Азовское на 549-533,5 км, Б – Межьюрско-Нарыкарское на 820-800 км: 1 – фронт и скорость размыва берегов

В обоих случаях оба рукава характеризуются активными размывами берегов, изменяющиеся от 0,5 до 3,2 м/год. Причем существует реальная угроза для населенных пунктов – с. Азовы и д. Нижние Нарыкары, где происходит утрата части прибрежной территории в результате размыва берегов со средними скоростями 1,7 и 3,2 м/год, соответственно.

Переформирования нижнего Иртыша

Нижний Иртыш характеризуется активными русловыми переформированиями, заключающимися, главным образом, так же, как и на Оби в развитии и смещении излучин в продольном, продольно-поперечном и поперечном направлениях, сопровождающимися изменениями их параметров. Важным фактором их морфологических изменений являются ширина днища долины и влияние коренных берегов: первая обуславливает свободное их развитие, второе – играет ограничивающую деформации роль. Коренной берег обуславливает формирование вынужденных и адаптированных излучин, в которых русловые деформации невысоки (не более 1 м/год), а на склонах часто встречаются оползни (рисунок 6.1.12). В то же время оползни могут перекрывать часть русла, отклонять поток и

приводить к размыву противоположного пойменного берега, способствуя формированию потенциальной опасности на участке.



Рисунок 6.1.12 – Оползень на нижнем Иртыше

На Иртыше формируются как прорванные излучины, где русловые деформации сосредотачиваются либо только в активно развивающемся спрямляющем рукаве, где формируются новые излучины русла (средние скорости размыва берегов – 6 м/год), а старое русло отмирает (Староиртышская излучина на 235-231 км) (рисунок 6.1.13 А), либо функционируют и переформируются оба рукава (Надцынская излучина на 573-564,5 км) (рисунок 4.4.19 Б), в которых скорости размыва могут достигать 2,6 м/год, тогда как в другом – локальны. В другом случае петлеобразные излучины спрямляются за счет встречного размыва берегов на их крыльях, а в образовавшиеся и расширяющиеся прораны уходит большая часть стока воды и наносов при постепенном обмелении и отмирании старого русла, как это произошло в 1988 г. на Артукской излучине на 1191-1190 км (рисунок 6.1.13 В).

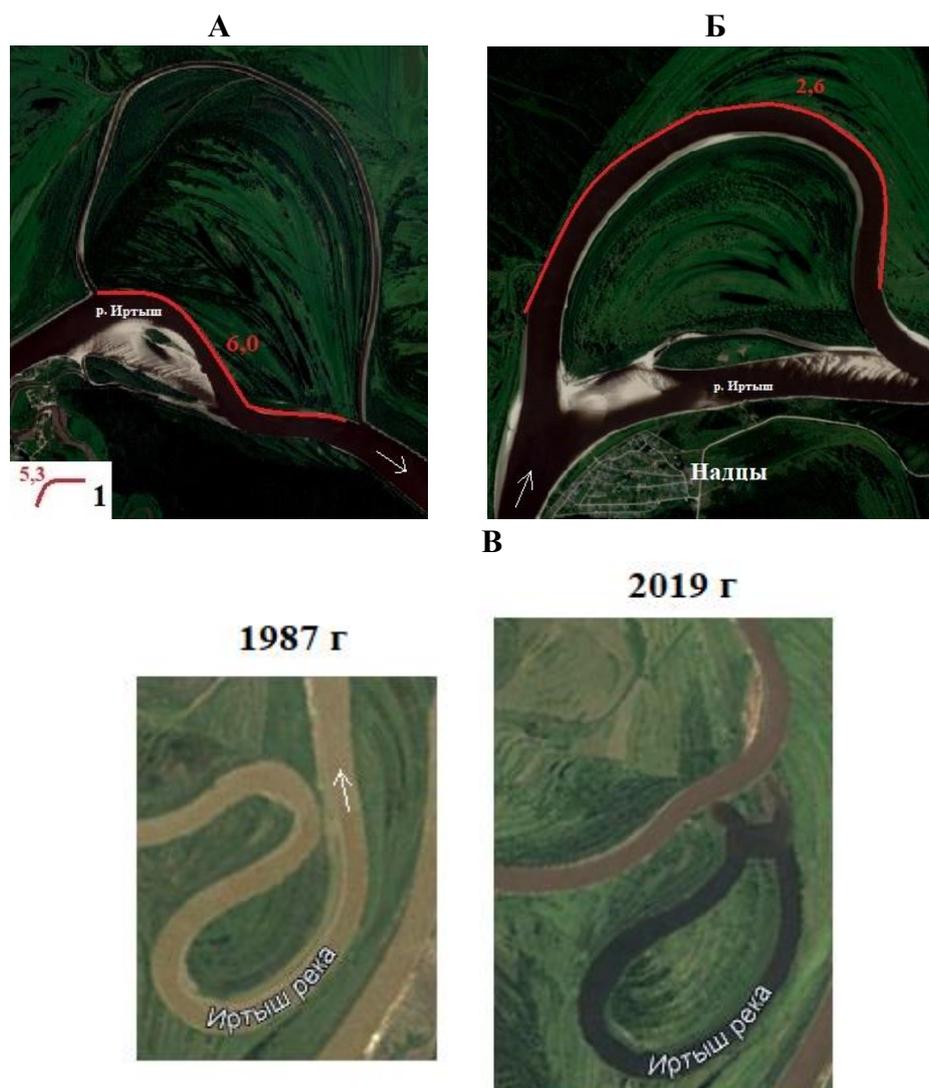


Рисунок 6.1.13 – Прорванные (А, Б) и спрямленная (В) излучины нижнего Иртыша

Прорванные или спрямленные излучины и размывы берегов на них в данных случаях ввиду отсутствия угрозы разрушения объектов жилой и хозяйственной инфраструктуры несут в основном потенциальную угрозу, но для условий судоходства они вполне благоприятны ввиду сокращения длины водного пути. Поэтому на Иртыше проведено искусственное спрямление во второй половине нескольких излучин. При естественном спрямлении на некоторое время (несколько лет) создаются серьезные затруднения для водного пути из-за возникающего разворота судового хода на 180° и местного размыва берега (это произошло на Укинской излучине в 2019 г.). Но при спрямлениях нередко населенные пункты лишаются водного подхода к ним.

Развитие многих излучин сопровождается формированием на их крыльях и в привершинных частях островов, протоки за которыми обычно маловодны, в которых русловые деформации локальны и не несут никакой угрозы [Куракова, Чалов, 2022].

Переформирования остальных рек Обь-Иртышского бассейна

Для всех средних и крупных рек, как и для Оби и Иртыша, главной формой переформирования русла является развитие и смещение излучин русла и размывы берегов, темпы которых зависят от степени их развитости. Сегментные излучины (пологие, развитые или крутые) характеризуются направленным смещением русла, и по мере их развития и искривления (увеличения l/L и уменьшения r) происходит активизация циркуляционных течений, по форме они становятся со временем омеговидными (петлеобразными) (рисунок 6.1.14) с преобладанием поперечного смещения.



Рисунок 6.1.14. Излучины Чулыма с различной степенью развитости

На более крупных реках, преимущественно их в нижнем течении, при прохождении $Q_{\text{ф}}$ при затопленной пойме, могут образовываться прорванные излучины, иногда с сохранением и переформированием как старого русла, так и спрямляющей протоки (рисунок 6.1.15 А); но чаще всего происходит спрямление излучин за счет встречных размывов берегов на крыльях излучин с дальнейшим образованием стариц (рисунок 6.1.15 Б). При этом ввиду небольшой плотности населения в бассейнах притоков Оби и Иртыша такого рода трансформации излучин несут только потенциальные угрозы, изменяя условия судоходства в худшую сторону (формирование перекатов и уменьшения на них гарантированных глубин), но иногда они способствуют сокращению длины водного пути, уменьшая время, затрачиваемое на редкие перевозки пассажиров и грузов.



Рисунок 6.1.15 – Прорванная (А – р. Чулым) и спрямленная (Б – р. Кеть) излучины

На немногочисленных русловых (островных) и пойменно-русловых разветвлениях отмечено периодическое отмирание и развитие рукавов, огибающих острова, вызванные последовательным продвижением на узел разветвления лево- и правобережных побочней, сформированных в том числе за счет поступления наносов от размыва берегов выше по течению, развитием и смещением излучин меандрирующих рукавов. Чаще всего, эти переформирования несут только потенциальную угрозу для прибрежных территорий, отражающаяся только на условиях судоходства. Это же касается и маловодных протоков за островами на излучинах, в которых русловые деформации локальны, а темпы размыва берегов в них невелики.

6.2. Устойчивость русла как критерий опасности русловых процессов

Для интегральной оценки опасных проявлений русловых процессов на реках Обь-Иртышского бассейна были использованы разные подходы. На крупнейших реках бассейна – Оби и Иртыше применялся показатель устойчивости русла – число Лохтина L и его изменения по длине реки. Это было обусловлено тем, что по ним имеются необходимые данные о диаметре руслообразующих наносах по длине рек. Для остальных рек бассейна ввиду отсутствия этой информации был использован подход оценки опасности русловых процессов в баллах характеристики размыва берегов. Данные подходы позволяют получить представление, прежде всего, о потенциальной опасности на реках Обь-Иртышского бассейна, ее изменении по длине их русел, но в то же время сами показатели, такие как устойчивость русла или балльная оценка, являются реальными характеристиками опасности, так как основываются на данных о размывах берегов.

Устойчивость русла и степень опасности русловых процессов тесно связаны (таблица 1.3.2): опасность закономерно увеличивается (от 0 баллов, т.е. отсутствие опасности, до 5 баллов – очень высокая) с уменьшением показателя устойчивости русла,

например, числа L . Для каждой степени проявления опасных русловых процессов, и, соответственно, устойчивости русла, характерны те или иные темпы русловых деформаций, прежде всего, средние и максимальные скорости размыва берегов, а также протяженность зон размыва [Чалов, 2019].

Устойчивость русла средней Оби определялась ниже устья Кети, для Иртыша – ниже впадения р. Тобола, для которых имелись данные по крупности руслообразующих наносов (донных отложений). Результаты расчета несколько завышены, поскольку данные о среднем диаметре руслообразующих наносов $d_{ср}$ были получены на основе отбора проб преимущественно в стрежневой зоне потока на характерных участках русла. Тем не менее полученные величины устойчивости русла хорошо согласуются с уже рассчитанными значениями для Оби выше по течению (по результатам грунтовой съемки [Русловые..., 2001]), а также укладываются в теоретические представления об ее изменении по длине реки [Чалов, 2008].

Согласно литературным данным [Русловой..., 1994], устойчивость русла средней Оби непосредственно ниже устья р. Томи (20-30 км) составляет $L=6,7$, т.е. русло является относительно устойчивым (таблица 6.2.1).

Таблица 6.2.1 – Устойчивость русла средней и нижней Оби (от слияния с р. Томью до г. Салехарда)

| Участок Оби | L | Характеристика (по классификации Р.С Чалова [2008]) | $C_{ср}$, м/год | $C_{макс}$, м/год | $L_{фр}$, % |
|--|------|---|------------------|-----------------------|--------------|
| между устьями рек Томи и Чулыма | 6,7* | Относительно устойчивое | 3,1 | 26,6 | 48,5 |
| между устьями рек Чулыма и Кети | | | | | |
| между устьями рек Кети и Васюгана | 7,8 | | | | |
| между устьями рек Васюгана и Тыма | 8,2 | | | | |
| между устьями рек Тыма и Ваха | | | | | |
| от устья реки Вах до захода в Юганскую Обь | 9,6 | Относительно устойчивое | 2,1 | 17,6 | 37,3 |
| от захода в Юганскую Обь до захода в Большую Салымскую протоку | 9,7 | | | | |
| от захода в Большую Салымскую протоку до захода в протоку Неулева | 9,3 | | | | |

| | | | | | | | | |
|--|--------------|--------|-----|-------------------------|-------------------------|-----|------|------|
| от захода в протоку Неулева до слияния с р. Иртышом | | 7,9 | | | | | | |
| от слияния с р. Иртышом до разделения Малой и Горной Оби | 1162-1010 км | 10,9 | 9,7 | Устойчивое | Относительно устойчивое | 2,3 | 16,6 | 35,4 |
| | 1010-950 км | 8,2 | | Относительно устойчивое | | | | |
| | 950-830 км | 10 | | Устойчивое | | | | |
| Малая Обь (от захода до ответвления протоки Большой Нюрик) | 830-798 км | 7,4 | 6,6 | Относительно устойчивое | | | | |
| | 798-740 км | 6,8 | | | | | | |
| | 740-685 км | 7,2 | | | | | | |
| | 685-636 км | 5 | | | | | | |
| Горная Обь | 835-817 км | 6,2 | 8,4 | Относительно устойчивое | Относительно устойчивое | 1,5 | 10,7 | 42,1 |
| | 817-773 км | 8,7 | | Относительно устойчивое | | | | |
| | 773-717 км | 11,1 | | Устойчивое | | | | |
| Малая Обь (от ответвления протоки Большой Нюрик до устья) | | 6,6** | | Относительно устойчивое | | | | |
| Большая Обь | 602-488 км | 5,6** | | Относительно устойчивое | | | | |
| | 488-350 км | 38,6** | | Устойчивое | | | | |
| от слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда | | 7,1** | | Относительно устойчивое | | 1,8 | 7,4 | 33,3 |

* по [Русловой..., 1994]

** экспертные данные

Ниже по течению оно остается относительно устойчивым, а число Лохтина постепенно возрастает с 7,8 ниже впадения р. Кети и до 8,2 перед устьем р. Ваха. На широтном участке Оби рост показателя L сохраняется и в среднем составляет 9,1 при диапазоне от 7,9 до 9,7. Нижняя Обь после слияния с р. Иртышом, проходя вдоль правого коренного берега, характеризуется дальнейшим ростом устойчивости русла. На этом участке L колеблется от 8,2 до 10,9 (в среднем 9,7), т.е. русло изменяется от относительно устойчивого до устойчивого (по классификации Р.С. Чалова [2008]). В раздвоенном русле нижней Оби число Лохтина в среднем несколько меньше, но это может быть обусловлено масштабным искажением показателя, т.к. размер каждого рукава зависит от степени рассредоточения стока (в отличие от раздвоенного русла в среднем течении, где правый

рукав – собственно Обь по водности в половодье из-за растекания потока по пойме и отвлечения части стока в пойменные протоки практически не изменяется). На Малой Оби (до ответвления протоки Большой Нюрик) русло относительно устойчивое, число L изменяется в диапазоне 5,0-7,4 (среднее значение 6,6). Ниже по течению из-за отсутствия данных о руслообразующих наносов адекватных значений L получить не удалось, но, можно предположить, исходя из данных руслового анализа, что устойчивость русла там сохраняется примерно та же, что и на участке Малой Оби от захода в нее до протоки Большой Нюрик ($L \approx 6,6$). Устойчивость Горной Оби, русло которой проходит преимущественно вдоль правого коренного берега, в основном больше ($L=6,2-11,1$ и местами является устойчивым), в среднем составляя 8,4. На Большой Оби устойчивость русла определяется распространением илистых грунтов в припойменной части, гравием и мелкой галькой в правой, источником которых служит правый коренной берег. В начале Большой Оби, там, где коренной берег отходит от русла, устойчивость русла снижается до 5,6 (относительно устойчивое), но на большем ее протяжении вдоль правого коренного берега L составляет 38,6 (русло устойчивое). Ниже слияния Малой и Большой Оби, где русло также сложено илистыми наносами, является устойчивым ($L=7,1$).

Другая крупнейшая река бассейна – Иртыш в среднем и нижнем течении также имеет относительно устойчивое и устойчивое русло (таблица 6.2.2). По данным [Русловой...,1994], от устья Тары до устья р. Тобола $L=11-12$ – русло устойчивое. Проведенные расчеты числа Лохтина на основе отбора проб донных отложений для нижнего течения Иртыша показали, что оно изменяется от 8,6 до 10,1, возрастая к устью, а среднее значение составляет 9,7.

Таблица 6.2.2 – Устойчивость русла среднего и нижнего Иртыша (от устья р. Тары до слияния с Обью)

| Участок | L | Характеристика (по Р.С Чалову [2008]) | $C_{ср}$, м/год | $C_{макс}$, м/год | $L_{фр}$, % |
|--|--------|--|------------------|--------------------|--------------|
| устье р. Тары – устье р. Тобола | 11-12* | Устойчивое | 1,8 | 9,2 | 40,0 |
| устье р. Тобола – устье р. Демьянки | 8,6 | Относительно устойчивое | 1,3 | 11,9 | 22,2 |
| устье р. Демьянки- устье р. Конды | 9,7 | Относительно устойчивое | 1,9 | 13,0 | 28,3 |
| устье р. Конды- устье | 10,1 | Устойчивое | 5,5 | 17,2 | 38,3 |

*по [Русловой..., 1994].

Таким образом, на средней и нижней Оби и нижнем Иртыше чередуются относительно устойчивые ($L=5,6-9,7$) и устойчивые русла ($L=10-38,6$), для которых,

согласно классификации Р.С. Чалова [2019] степень опасности русловых процессов умеренная и слабая, соответственно. Полученные в ходе исследования скорости размыва берегов и их протяженность на различных участках этих крупнейших рек хорошо укладываются в диапазоны темпов русловых деформаций, присущих для данных характеристик устойчивости и опасности [Чалов, 2019]: скорости размыва в основном в пределах от 2 до 5 м/год (средние) и больше 10 м/год (максимальные) на относительно устойчивых руслах, и меньше 2 м/год (средние) и 5 м/год (максимальные) – на устойчивых, не исключая экстремальных проявлений размыва берегов ввиду местных условий. Протяженность размыва берегов варьируется от первых десятков на реках с устойчивым руслом и от 30 до 60 % на относительно устойчивых.

Для средних и больших рек Обь-Иртышского бассейна имеются только общие данные об устойчивости русла: L изменяется в диапазоне от 5 до 7,5, т.е. русла притоков Оби и Иртыша являются относительно устойчивыми, причем устойчивость возрастает к устью [Русловой..., 1994], т.е. для рассматриваемых рек наблюдается умеренная опасность согласно классификации Р.С. Чалова [2019]. Поэтому средние и большие реки бассейна оценивались при помощи баллов опасности русловых процессов по трем критериям, характеризующим размывы берегов: средняя скорость ($C_{ср}$, м/год), максимальная скорость ($C_{макс}$, м/год) и относительная протяженность фронта размыва ($L_{фр}$, %). Каждый из критериев имеет свою градацию в зависимости от степени опасности, которую он характеризует. Каждой градации присваивается свой балл – от 0 (отсутствие размывов) до 5 (наиболее неблагоприятное влияние – интенсивные размывы) (таблица 6.2.3). Полученные по каждому критерию баллы складываются, после чего в зависимости от их итоговой суммы присваивается балл суммарной опасности: до 4 – 1 балл опасности, от 4 до 8 – 2 балл опасности, от 8 до 12 – 3 балл опасности, от 12 до 16 – 4 балл опасности, от 16 – 5 балл опасности.

Таблица 6.2.3 – Критерии опасности русловых процессов по проявлению в размывах берегов на средних и больших реках Обь-Иртышского бассейна

| Балл | Критерий | | |
|------|------------------|--------------------|--------------|
| | $C_{ср}$, м/год | $C_{макс}$, м/год | $L_{фр}$, % |
| 0 | <1 | <1 | 0 |
| 1 | 1-2 | 1-4 | 0-10 |
| 2 | 2-3 | 4-7 | 10-20 |
| 3 | 3-4 | 7-10 | 20-30 |
| 4 | 4-5 | 10-13 | 30-40 |
| 5 | >5 | >13 | >40 |

Каждая из рассматриваемых средних и больших рек Обь-Иртышского бассейна разбивалась на равные по длине участки, чтобы можно было сравнивать их между собой, на которых была проведена оценка критериев. Результаты представлены в таблице 6.2.4.

В целом для всех рек либо выдерживается один или близкий уровень опасности, либо наблюдается некоторое ее увеличение вниз по течению. Исключение составляют реки Вах и Конда, на которых интенсивность горизонтальных русловых деформаций несколько снижается вниз по течению. Возможно, это связано с тем, с одной стороны, что они имеют в нижнем течении общую и широкую пойму с Обью и Иртышом, и соответственно, происходит растекание потока по ней, а с другой, с прохождением руслоформирующего расхода воды при затопленной пойме.

Наибольшая опасность (2-3 балла) характерна для правобережных и одних из самых крупных притоков Оби на юго-востоке бассейна – Томи и Чулыма. При продвижении на север и запад она снижается с 2 до 1 балла. Также балл опасности выше на западе бассейна, где он приурочен к рекам бассейна р. Тобола, а также для рек Конды и Северной Сосьвы. Это, скорее всего, связано с изменениями внутригодового распределения стока (снеговое питание весной в Зауралье и на юге и грунтовое питание летом на севере) ввиду изменения температурного режима и режима осадков, степени заболоченности и заозеренности бассейнов и т.д.

В целом для средних и больших рек Обь-Иртышского бассейна опасность русловых процессов слабая (1-2 балла), тогда как на крупнейших – Оби и Иртыше – она повышается и согласно классификации (таблица 1.3.2) становится умеренной (относительно устойчивые русла – 2 балла опасности – умеренная степень). При этом как на Оби и Иртыше, так и на их притоках наблюдаются проявления экстремальных размывов, обусловленных местными условиями (легко размываемые аллювиальные отложения, слагающие пойменные берега или речные террасы, направляющее воздействие выступов (мысов) коренного берега, слив осветленных вод выклинивающейся поймы и т.д.), и, наоборот, участки русла, где при подходе к коренному берегу устойчивость русла возрастает, а темпы горизонтальных русловых деформаций резко снижаются или вообще отсутствуют.

Таблица 6.2.4 – Оценка опасности на средних и больших реках Обь-Иртышского бассейна

| Река | Номер участка | Границы, км | С _{ср} , м/год | С _{макс} , м/год | L _{фр} , км | X, км | L _{фр} , % | Баллы | | | Сумма баллов | Балл опасности |
|--------------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|-------|---------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|----------------|
| | | | | | | | | С _{ср} , м/год | С _{макс} , м/год | L _{фр} , км | | |
| Тым | 1 | 311-208 | 2.3 | 4.6 | 11.3 | 206 | 5.5 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 |
| | 2 | 208-104 | 2.1 | 4.2 | 6.1 | 208 | 2.9 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 |
| | 3 | 104-0 | 2.6 | 5.2 | 9.8 | 208 | 4.7 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 |
| Тромъеган | 1 | 389-260 | 1.2 | 2.4 | 9.6 | 258 | 3.7 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 260-130 | 1.4 | 4.5 | 15 | 260 | 5.8 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 |
| | 3 | 130-0 | 1.8 | 5.8 | 16.7 | 260 | 6.4 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 |
| Полуй | 1 | 397-264 | 1.4 | 3 | 27.1 | 266 | 10.2 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 |
| | 2 | 264-132 | 1.3 | 2.7 | 27.4 | 264 | 10.4 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 |
| | 3 | 132-0 | 1.3 | 2.6 | 5.9 | 264 | 2.2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Казым | 1 | 444-296 | 1.4 | 2.1 | 9.9 | 296 | 3.3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 296-148 | 1.4 | 2.1 | 1.5 | 296 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 3 | 148-0 | 1.8 | 4.9 | 29.1 | 296 | 9.8 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 |
| Аган | 1 | 373-248 | 1.4 | 3.5 | 43.8 | 250 | 17.5 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 |
| | 2 | 248-124 | 1.8 | 8.9 | 39.9 | 248 | 16.1 | 1 | 3 | 2 | 6 | 2 |
| | 3 | 124-0 | 1.8 | 4.4 | 28.8 | 248 | 11.6 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2 |
| Кеть | 1 | 556-417 | 1.7 | 3.9 | 35.2 | 278 | 12.7 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 |
| | 2 | 417-278 | 1.7 | 3.6 | 37.2 | 278 | 13.4 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 |
| | 3 | 278-139 | 1.8 | 4.5 | 50.4 | 278 | 18.1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2 |
| | 4 | 139-0 | 2.1 | 6.1 | 46.8 | 278 | 16.8 | 2 | 2 | 2 | 6 | 2 |
| Вах | 1 | 771-579 | 1.7 | 3.4 | 21 | 384 | 5.5 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 579-386 | 1.4 | 9.5 | 28.5 | 386 | 7.4 | 1 | 3 | 1 | 5 | 2 |
| | 3 | 386-193 | 1.5 | 9.2 | 42 | 386 | 10.9 | 1 | 3 | 2 | 6 | 2 |
| | 4 | 193-0 | 1.8 | 3.8 | 35 | 386 | 9.1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Чулым | 1 | 400-266 | 3.3 | 12.7 | 66.1 | 268 | 24.7 | 3 | 4 | 3 | 10 | 3 |
| | 2 | 266-133 | 3.5 | 11.8 | 74.6 | 266 | 28.0 | 3 | 4 | 3 | 10 | 3 |
| | 3 | 133-0 | 3.2 | 10 | 96.9 | 266 | 36.4 | 3 | 3 | 4 | 10 | 3 |
| Большой Юган | 1 | 294-147 | 1.4 | 2.8 | 17.9 | 294 | 6.1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 147-0 | 1.5 | 3.3 | 41.8 | 294 | 14.2 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 |
| Васюган | 1 | 470-235 | 2.1 | 4.2 | 5.3 | 470 | 1.1 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---------|-----|-----|------|-----|------|---|---|---|---|---|
| | 2 | 235-0 | 2 | 3.2 | 9.2 | 470 | 2.0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Тобол | 1 | 434-290 | 1.3 | 2.2 | 18.4 | 288 | 6.4 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 290-145 | 2.3 | 6.8 | 84.5 | 290 | 29.1 | 2 | 2 | 3 | 7 | 2 |
| | 3 | 145-0 | 2.3 | 6.8 | 63.3 | 290 | 21.8 | 2 | 2 | 3 | 7 | 2 |
| Лямин | 1 | 289-145 | 1.2 | 2.3 | 11.4 | 288 | 4.0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 145-0 | 1.3 | 2.3 | 16.9 | 290 | 5.8 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Парабель | 1 | 246-123 | 1.2 | 2 | 8.4 | 246 | 3.4 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 123-0 | 1.2 | 1.9 | 16 | 246 | 6.5 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Тура | 1 | 659-330 | 1.2 | 1.8 | 2.3 | 658 | 0.3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 330-0 | 2 | 5.9 | 72.1 | 660 | 10.9 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2 |
| Тавда | 1 | 730-365 | 0 | 0 | 0 | 730 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 2 | 365-0 | 1.9 | 7 | 95.7 | 730 | 13.1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2 |
| Конда | 1 | 735-490 | 1.6 | 4.4 | 53.8 | 490 | 11.0 | 1 | 2 | 2 | 5 | 2 |
| | 2 | 490-245 | 1.5 | 2.7 | 21.2 | 490 | 4.3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 3 | 245-0 | 1.8 | 5.1 | 27.1 | 490 | 5.5 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 |
| Томь | 1 | 120-0 | 2.4 | 6.5 | 8.0 | 240 | 3.3 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 |
| Северная Сосьва | 1 | 153-0 | 2.3 | 6.8 | 23 | 306 | 7.5 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 |
| Демьянка | 1 | 311-155 | 1.3 | 2.3 | 3.4 | 312 | 1.1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 2 | 155-0 | 1.4 | 3.2 | 9.3 | 310 | 3.0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |

$C_{\text{ср}}$ – средняя скорость, м/год; $C_{\text{макс}}$ – максимальная скорость; $L_{\text{фр}}$ – общая протяженность размываемых берегов, км; X , км – общая длина береговой линии; $L_{\text{фр}}$ – относительная протяженность размываемых берегов на участке, %

6.3. Районирование бассейна и ранжирование участков крупнейших рек по условиям размыва берегов

На основе данных о геолого-геоморфологических условиях формирования русел и полученных сведениях о горизонтальных русловых деформациях (см. таблица 5.1.1) было выполнено районирование территории бассейна, а для основных (магистральных крупнейших) рек Оби и Иртыша – выделение участков, различающихся по причинам, особенностям и темпам размыва берегов (рисунок 6.3.1). Полученное районирование хорошо согласуется с изменением водоносности и распространением типов русла по длине Оби и Иртыша и районированием территории Обь-Иртышского бассейна по зависимости стока рек от структуры речной сети (см. рисунок 2.3.2). Обь и Иртыш разделены по 5 участков (А-Д – Обь и а-д – Иртыш), на территории бассейна выделено семь районов (I-VII).

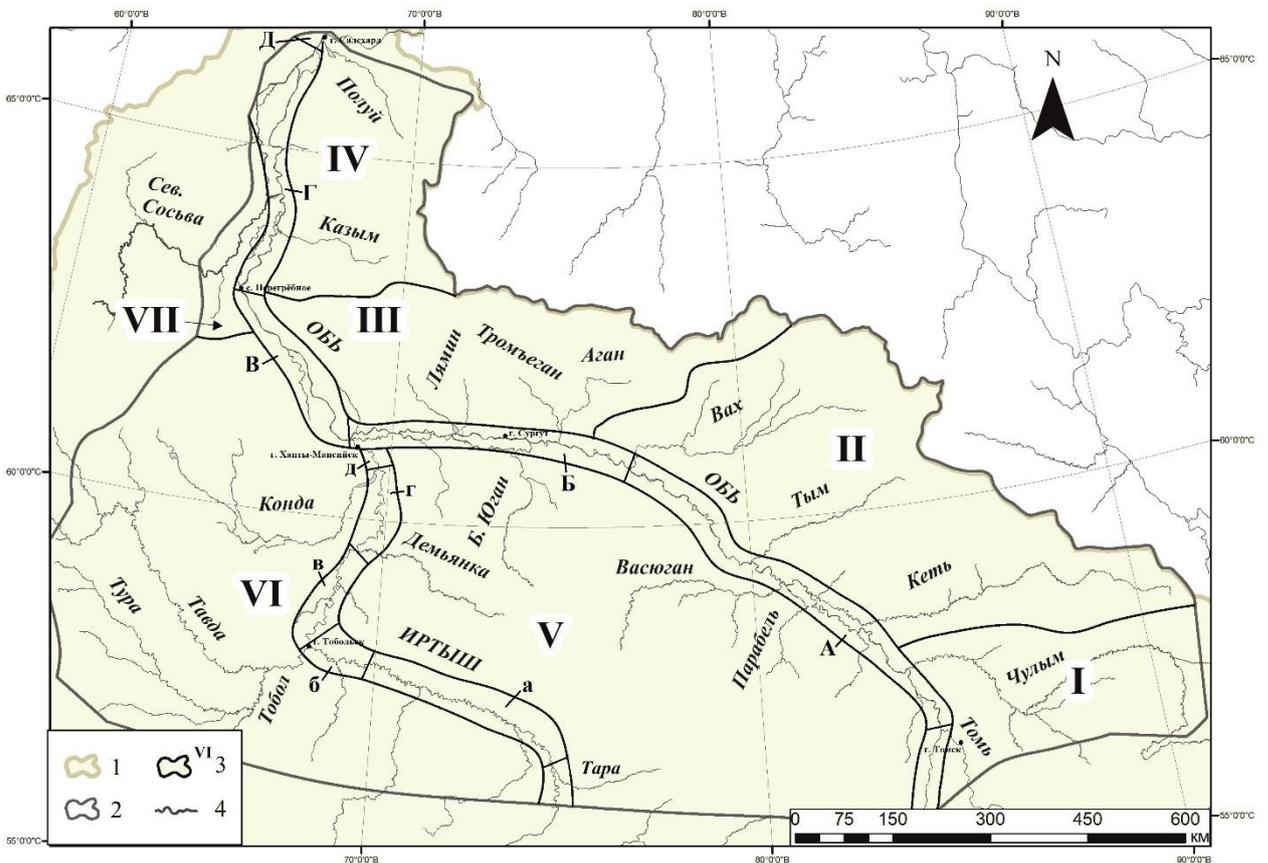


Рисунок 6.3.1 – Районирование Обь-Иртышского бассейна по условиям размыва берегов.

1 – граница Обь-Иртышского бассейна, 2 – равнинная часть лесной зоны бассейна, 3 – границы и номера районов, 4 – средние, большие и крупнейшие реки бассейна (Журакова, в печати)

Эти районы в основном согласуются с районами, которые выделены на карте «Районирование территории Обь-Иртышского бассейна по зависимости характеристик стока рек от структуры речной сети ($Q=f(N)$)» (см. рисунок 2.3.2), что является дополнительным обоснованием проведенного районирования по условиям размыва берегов, так как сток воды является одним из важнейших факторов размыва берегов. Различия между двумя картами заключаются в том, что Конда объединяется в один район с реками бассейна Тобола, а Северная Сосьва составляет отдельный район.

Обь (от устья р. Томи до г. Салехарда)

Обь разделяется на 5 участков: А – от слияния с р. Томью до устья р. Ваха, Б – от устья р. Ваха – до слияния с р. Иртышом (широтный), В – от слияния с р. Иртышом до разделения на Малую и Горную Обь, Г – раздвоенное русло нижней Оби, Д – от слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда (рисунок 6.3.1).

Участок А представляет собой единое русло Оби с преимущественно меандрирующим (извилистым) руслом и пойменно-русловыми разветвлениями с меандрирующими рукавами, небольшими отрезками прямолинейного русла и отдельными русловыми одиночными разветвлениями, не образующими морфологически однородных участков. Ширина поймы – 20-30 км (при ширине русла – 1-2 км), Q_{ϕ} , проходящим сначала в бровках поймы, а ниже устья р. Кети – при затопленной пойме [Русловые..., 1994]. На фоне увеличения водоносности реки вниз по течению и сниженной устойчивости (число Лохтина в среднем 7,6 – относительно устойчивое русло), а, следовательно, наблюдается сравнительно высокая степень проявления русловых процессов. Диапазон скоростей размывов берегов здесь очень широкий, величины достигают наибольших значений: средняя скорость – 1,0-13,3 м/год, среднемаксимальная – 1,1-26,6 м/год. Общая протяженность размываемых берегов здесь одна из самых больших – 950 км, что составляет почти половину (48,5 %) общей протяженности береговой линии. Однако, размывы берегов являются в основном отражением потенциальной опасности, хотя здесь встречаются их экстремальные проявления возле населенных пунктов (у г. Колпашево).

На участке Б ширина днища долины увеличивается до 40 км (ширина русла – 2-3 км), Q_{ϕ} проходит при глубоком и длительном затоплении поймы, которая расчленена большим количеством пойменных проток (ответлений), впервые появляется раздвоенное русло, занимающее 62 % длины русла. Его рукава имеют свой набор морфодинамических типов русла, происходит рассредоточение и постоянное перераспределение стока между рукавами и протоками на фоне незначительного увеличения общего расхода воды реки. Это, как и некоторое увеличение устойчивости русла ($L_{cp}=9,1$), отражается на

характеристиках размыва берегов – они несколько снижаются, а диапазон их скоростей сужается, соответственно, опасность русловых процессов относительно участка А снижается. Средняя скорость размыва берегов изменяется от 1 до 10 м/год, среднемаксимальная – от 1,1 до 17,6 м/год; суммарная длина фронтов размыва берегов уменьшается – до 680 км (37,3 % от длины береговой линии). Встречаются локальные участки реальной угрозы нарушения из-за размывов – у п. Высокий мыс, с. Тундрино; на Юганской Оби у г. Нефтеюганска и у г. Нижневартовска выполнены масштабные работы по берегоукреплению (у г. Нижневартовска – 6 км, что составляет 27,3 % длины правого рукава пойменно-руслового разветвления).

Участок В является морфологически однородным – одиночные разветвления, разделенные прямолинейными отрезками русла, располагающегося вдоль правого коренного берега в относительно суженной долине (10-20 км при ширине русла 1-2 км); водоносность реки остается на всем протяжении постоянной (участок бесприточный). Ограничивающее влияние коренного берега и увеличение устойчивости русла (L от 8,2 до 10,9), т.е. от относительно устойчивого до устойчивого, приводит к тому, что опасность русловых процессов снижается: всего размывается 235 км левых пойменных берегов и островов (35,4 % их длины), средняя скорость размывов – 0,9-6,4 м/год, среднемаксимальная – 1,4-16,6 м/год (мысы правого коренного берега оказывают направляющее воздействие на поток, отклоняя его к левому пойменному и вызывая его местный активный размыв и обуславливая формирование островов непосредственно ниже их). Реальную угрозу размывы берегов образуют у с. Белогорье и еще в 2-3 местах, общей протяженностью 1-2 км.

Участок Г соответствует раздвоенному руслу нижней Оби, где происходит очень сильное рассредоточение стока в очень широкой долине (максимум до 60 км, ширина русла – от 1-2 до 3-5 км), причем от каждого рукава ответвляются рукава вторичных раздвоений со своим набором морфодинамических типов русла; рукава раздвоенного русла связаны как между собой множеством пойменных протоков, в них впадают притоки Оби, в основном малые реки, но также и большие – Северная Сосьва и Казым. Все это проходит на фоне еще более глубокого и длительного (до 180 дней) затопления поймы. При этом правый рукав раздвоенного русла (Горная и Большая Обь) располагается вдоль коренного берега, что, с одной стороны, ограничивает развитие в нем русловых деформаций, а с другой, при наличии его выступов и мысов создается направляющее воздействие на поток, благодаря чему усиливается размыв противоположных левых пойменных берегов. Это приводит к тому, что как показатели устойчивости, так и степень опасности на разных участках русла различны и находятся в широких пределах: при достаточно большой протяженности

размываемых берегов (950 км, 42,1 % береговой линии), скорости их размыва уменьшаются – средняя до 0,5-6,2 м/год, среднемаксимальная – 0,6-12 м/год. Наиболее активные переформирования и, соответственно, повышенная опасность присущи руслу Малой Оби с относительно пониженной устойчивостью русла (L около 6,6); на Горной и Большой Оби, по длине которых число L увеличивается от 5,6 (относительно устойчивое на Горной Оби) до 38,6 (устойчивое на Большой Оби), активность размыва берегов, как и опасность русловых процессов в целом, снижаются. Реальную угрозу разрушения объектов размывы берегов не вызывают, но на Малой Оби они приводят к формированию крутых изгибов русла, где в вершине $r < 2-3b_p$, что приводит к существенным затруднениям в судоходстве, т.к. радиусы кривизны излучин оказываются меньше допустимых (гарантированных) для судового хода.

Последний участок Д – небольшой по длине, начинается ниже слияния рукавов раздвоенного русла нижней Оби (Большой и Малой Оби) и до г. Салехарда. Здесь единое прямолинейное русло вниз по течению сменяется односторонними и параллельно-рукавными разветвлениями, ширина днища долины составляет не более 15 км, ширина русла – 2-4 км. Очень большая водоносность реки и, соответственно, ширина русла, обуславливает возникновение в потоке несколько стрежневых зон, вследствие чего русло разделяется крупными островами на рукава. Относительная устойчивость русла ($L=7,1$) и в целом умеренная опасность сказываются на интенсивности размыва берегов: средние скорости снижаются до 0,7-3,4 м/год, среднемаксимальные составляют 2,9-7,4 м/год; общая протяженность размываемых берегов всего около 60 км (33,3 % длины береговой линии) [Куракова, 2022]. На данном участке размыв берегов несут только потенциальную угрозу.

Иртыш (от устья р. Тары до слияния с р. Обью)

Нижний Иртыш также по условиям развития русловых деформаций разделяется на пять участков: а – от устья р. Тары до 850 км, б – от 850 км до слияния с р. Тоболом, в – от слияния с р. Тоболом до устья р. Демьянки, г – от устья р. Демьянки до устья р. Конды, д – от устья р. Конды до слияния с Обью (см. рисунок 6.3.1).

На участке *а* нижнего Иртыша ширина днища долины составляет от 4 до 8 км, периодически сужаясь и расширяясь (ширина русла – 0,2-0,5 км). Пояс мандривания занимает всю ширину поймы, излучины попеременно касаются своими вершинами то одного, то другого борта долины; некоторые из них являются вынужденными, вписанными, сундучными и адаптированными. Пойменные протоки (ответвления) отсутствуют. Наравне с «большими» излучинами встречается большое количество петлеобразных излучин, которые спрямляются как естественным путем вследствие встречного размыва на их крыльях, так и при искусственном спрямлении для сокращения водного пути и общего

улучшения условий судоходства. Русло Иртыша на данном участке устойчиво (число L изменяется от 11 до 12 [Русловые...,1994]), что и отражается на опасности и ее характеристиках: протяженность размываемых берегов здесь около 180 км (13,6 % от общей длины береговой линии), средние скорости размыва на излуцинах от 1,3 до 6,5 м/год, среднемаксимальные – 1,8-9,2 м/год.

Участок $б$ характеризуется расширением днища долины до 10 км (ширина русла колеблется от 0,2 до 0,5 км,) при поясе меандрирования около 5 км, который занимает преимущественно центральное положение. Как устойчивость русла, и, соответственно, опасность, так и активность горизонтальных русловых деформаций здесь остается на том же уровне, что и на участке $а$: средние скорости размыва берегов – от 1,2 до 6,5 м/год, среднемаксимальные – 1,6-8,4 м/год, но относительная протяженность фронта размыва здесь возрастает, составляя 24,5 % длины береговой линии (около 90 км).

На третьем участке $в$ нижний Иртыш протекает в относительно суженной долине (до 10 км), полностью занимаемой поясом меандрирования при ширине русла от 0,5 до 1 км. Здесь вновь появляются «большие» излуцины, касающиеся своими вершинами противоположных бортов долины, при подходе к коренному берегу формируются вынужденные излуцины; встречаются также петлеобразные излуцины. В связи с этим, несмотря на увеличение водоносности реки (результат слияния с Тоболом), некоторого снижения устойчивости русла ($L=8,6$), и при отсутствии пойменных протоков (ответлений) скорости размыва берегов остаются примерно те же. Средняя скорость размыва берегов изменяется от 1,3 до 5,7 м/год, среднемаксимальные – 2-9 м/год. Суммарная длина размываемых берегов достаточно велика – 180 км (но это всего 22,2 % береговой линии).

На четвертом участке $г$ днище долины несколько расширяется (до 12 км), русло реки при ширине 0,5-1 км свободно меандрирует, но при подходе к правому берегу, к которому тяготеет, образует вынужденные и вписанные излуцины. Устойчивость русла несколько возрастает ($L=9,7$), русло остается относительно устойчивым, а опасность возрастает: размывы берегов увеличиваются в среднем от 1,6 до 8,7 м/год, среднемаксимальные составляют 2,4-13 м/год; размывы происходят на 28,3 % береговой линии (120 км).

Пятый, нижний, участок $д$ характеризуется самой большой шириной днища долины (до 20 км), которая ниже г. Ханты-Мансийска сливается с долиной р. Оби. Русло с шириной 0,5-1,0 км меандрирует, занимая преимущественно центральное положение среди поймы. Появляются пойменные протоки (ответвления), русло Иртыша становится устойчивым ($L = 10,1$). Здесь фиксируется самая высокая интенсивность горизонтальных русловых деформаций, которая может привести к различным негативным последствиям. Средняя скорость размыва берегов изменяется от 4,5 до 11,3 м/год, среднемаксимальная – 8,1-17,2

м/год. Общая протяженность размываемых берегов составляет больше 90 км (38,8 % береговой линии) [Куракова, Чалов, 2022].

Для нижнего Иртыша размывы берегов в основном несут потенциальную угрозу, и только на отдельных участках она становится реальной, например, у с. Демьянского или д. Медведчиково с максимальной скоростью размыва до 3 м/год; у г. Ханты-Мансийска, где размываются автомобильная дорога федерального значения и резервная городская территория, экстремальные значения отступления берегов достигают 15 м/год.

Полученные значения числа L для средней и нижней Оби и нижнего Иртыша показывают, что в основном их русла относительно устойчивые ($L=5,6-9,7$), местами устойчивые ($L=10-38,6$). Полученные в ходе исследования скорости размыва берегов и их протяженность хорошо укладываются в диапазоны характеристик горизонтальных деформаций в классификации [Чалов, 2019]: скорости размыва в основном в пределах от 2 до 5 м/год, а максимальные – более 10 м/год, не исключая экстремальных проявлений размыва берегов вследствие местных условий; периодичность развития рукавов в диапазоне 20-80 лет, развития и спрямление излучин – около 100 и более лет; протяженность размыва берегов – от 30 до 60 %.

Остальные реки Обь-Иртышского бассейна

Остальные реки Обь-Иртышского бассейна объединяются в семь районов: I – Юго-восточный – реки Томь и Чулым; II – Восточный – реки Кеть, Тым и Вах; III – Центральный – реки Тромъеган, Аган и Лямин; IV – Северо-восточный – реки Казым и Полуй; V – Южный – реки Парабель, Васюган, Большой Юган и Демьянка; VI – Западный – реки Тобол, Тура, Тавда и Конда; VII – Северо-западный – река Северная Сосьва (см. рисунок 6.3.1). Выделенные районы различаются по интенсивности горизонтальных русловых деформаций, которая также хорошо согласуется с проведенной оценкой опасности по характеристикам размыва берегов.

I район объединяет большие реки бассейна Оби и одни из крупнейших после Иртыша ее притоков – Томь и Чулым, берущих начало в горах и протекающих по хорошо расчлененной территории, которые характеризуются 2-3 баллами опасности. На них зафиксированы самые высокие скорости размыва берегов. В среднем русла смещаются со скоростями 2,4 и 3,3 м/год (максимальные – 6,5 и 12,7 м/год, соответственно).

В северо-западном направлении, т.е. вниз по течению Оби, темпы размыва на ее притоках уменьшаются, как, соответственно, и опасность, оцениваясь в 1-2 балл. В пределах II района, включающего Кеть, Тым и Вах и протекающих по Вах-Кетской возвышенности, где расчлененность растет с юга на север, сопровождаясь увеличением

степени заболоченности бассейнов в том же направлении, размывы берегов составляют в среднем 1,9 м/год, максимальные – от 3,8 до 6,2 м/год.

III район занимает широтное правобережье средней Оби, в которое входят слаборасчлененные, сложенные песчаными отложениями и сильно заозеренные (до 40 %), бассейны рек Тромъегана, Агана и Лямина с 1 баллом опасности (только в низовьях Агана появляется 2 балла). На них скорости размыва берегов снижаются в среднем до 1,5 м/год, максимальные изменяются в диапазоне 2,4-8,9 м/год.

На севере территории располагается **IV** район, объединяющий правые притоки Оби – Казым и Полуи, расположенные в пределах низменной территории с относительно малой степенью заболоченности и заозеренности, но наличием многолетней мерзлоты. На данных реках при 1 балле опасности наблюдаются относительно невысокие средние скорости размыва берегов – 1,4-1,7 м/год, максимальные – не превышают 4,9 м/год.

Обь-Иртышское междуречье, которое входит в **V** район, сильно заболочено (местами до 70 %) и имеет плоский рельеф. Размывы берегов протекающих там рек (Парабель, Васюган, Большой Юган и Демьянка) – одни из самых низких (как и балл опасности – преимущественно 1) в бассейне: средние скорости в основном до 1,5 м/год, максимальные не превышают 4,4 м/год.

VI район занимает слаборасчленённое левобережье Иртыша с заболоченностью до 20 % территории, включающее в себя р. Конду и реки бассейна р. Тобола (Тавда и Тура, берущие начало на отрогах Уральских гор). Для него характерны повышенные баллы опасности (до 2); размывы берегов – средние от 1,7 до 2,2 м/год, максимальные – от 5,2 до 7,1 м/год.

К **VII** району относится Северная Сосьва с повышенным баллом опасности – 2. На нижнем 150-километровом участке она течет в общей с Обью долине, с которой имеется связь по пойменным протокам (Лапорская и Пырсим) и крупному рукаву раздвоенного русла – протоке Вайсова (67 % стока от расхода Оби). Средняя скорость размыва берегов на ней составляет 2,3 м/год, а максимальная – 6,8 м/год.

6.4. Гидролого-морфологический анализ размывов берегов

При подготовке данного раздела диссертации использована следующая публикация, выполненная автором лично, в которой, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

Куракова А.А. Размывы пойменных берегов Оби и Иртыша и их связь с морфологией русла // Географический вестник – 2022. – № 1(60). – С. 40–59. (100 %).

Гидролого-морфологические зависимости позволяют выявить связи между характеристиками размыва берегов и показателями определяющих их факторов – водоносностью рек и рукавов, морфологическими параметрами русла – степенью развитости l/L , радиусами кривизны r , шагами излучин русла и рукавов разветвлений L . Полученные связи характеризуют не только отдельную реку или ее участки, но и реки близких порядков в районах с одинаковыми условиями формирования русел и развития русловых деформаций. Зависимости также применяются при прогнозе русловых деформаций и исследовании малоизученных рек на основе региональных уравнений связи.

Увеличение порядка рек (N), т.е. их размера и водоносности, а, следовательно, мощности потока сопровождается возрастанием скоростей размыва берегов для всех рек бассейна. Эта зависимость $C_{\text{ср}} = f(N)$ описывается верхней огибающей на графике связи a (рисунок 6.4.1), поскольку интенсивность размыва, как и скорости потока зависят также от формы русла, распределения скоростей и других факторов. Особенно резкий рост $C_{\text{ср}}$ наблюдается при переходе от средних рек к большим ($N > 13-14$). Это объясняется тем, что зависимость между порядком реки и водоносностью также отличается для малых, средних, больших и крупнейших рек, характеризуясь перегибами при переходе от одной категории к другой [Пахомова, 2001]. Исключение составляет р. Обь. До участка среднего течения с раздвоенным руслом интенсивность горизонтальных русловых деформаций также возрастает, но ниже по течению с раздвоением русла на собственно Обь (правый рукав) и Юганскую Обь – наблюдается обратный тренд (b на рисунок 6.4.1). Это обусловлено рассредоточенностью стока по ее длине из-за расширения поймы вниз по течению (до 60 км), увеличения количества рукавов раздвоенного русла (вторичных раздвоений русла) и пойменных протоков.

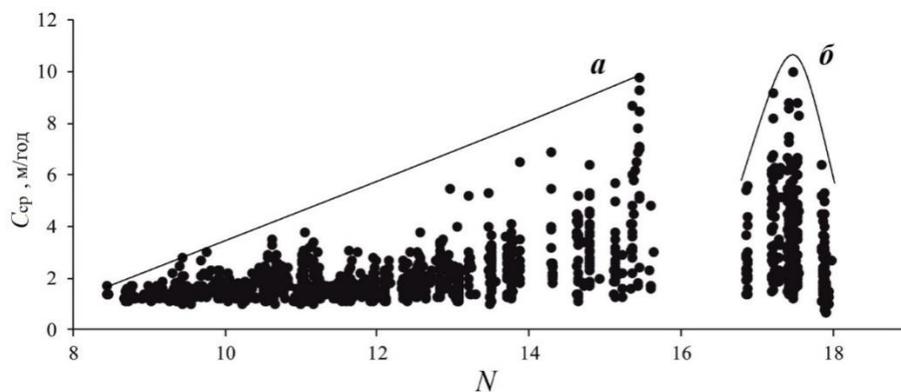


Рисунок 6.4.1 – Зависимость средней скорости размыва берегов ($C_{\text{ср}}$, м/год) от порядка рек (N) Обь-Иртышского бассейна: a – зависимость для рек Обь-Иртышского бассейна, b – зависимость для средней и нижней Оби

Исследования, проведенные на нижней Оби в период весеннего половодья, когда измеренные расходы были близки к руслоформирующим $Q_{\text{ф}}$ верхнего интервала (они проходят при затопленной пойме – 25000 и 33000 м³/с по г.п. Белогорье и г.п. Салехард, соответственно [Русловой..., 1994]), подтверждают связь между водоносностью Оби и рукавов ее раздвоенного русла и интенсивностью горизонтальных русловых деформаций [Куракова, Чалов, 2020]: чем больше расход воды в половодье, тем выше скорости размыва берегов и больше протяженность размываемых берегов (рисунок 6.4.2).

Большая водоносность в половодье как рукавов одиночных разветвлений на участке единого русла нижней Оби (т.е. участок реки без раздвоенного русла и пойменно-русловых разветвлений) (рисунок 6.4.2а), так и в рукаве раздвоенного русла – Малой Оби (рисунок 6.4.2б) обуславливают высокие темпы отступления их пойменных берегов. Эти зависимости описываются линейными уравнениями вида $C_{\text{ср}}=aQ_{\text{ф}}+b$, где $a = 0,0004$ и $b = -0,36$ для Оби от устья Иртыша до с. Перегрёбного и, соответственно, 0,2 и 1,23 для Малой Оби [Куракова, Чалов, 2020].

Связь длины фронта размыва и расходов воды наиболее четко прослеживается на Горной и Большой Оби. Для последней характерна линейная связь между длиной фронта размыва на формах русла (излучин рукава раздвоенного русла и рукавов русловых разветвлений) и измеренными расходами воды в половодье: $L_{\text{фр}}=0,0014Q_{\text{пол}}-8,98$ (рисунок 6.4.2г). Дополнительным фактором, влияющим на относительную протяженность размыва берегов (т.е. отношение фронта размыва к общей протяженности береговой линии в пределах той или иной формы русла), является рассредоточение стока по рукавам раздвоенного русла Горной Оби, когда в ее основном русле расход воды в половодье снижается практически в 2 раза (рисунок 6.4.2в), и точки на графиках связи разделяются на две группы: в раздвоенном (I) и едином (II) русле [Куракова, Чалов, 2020].

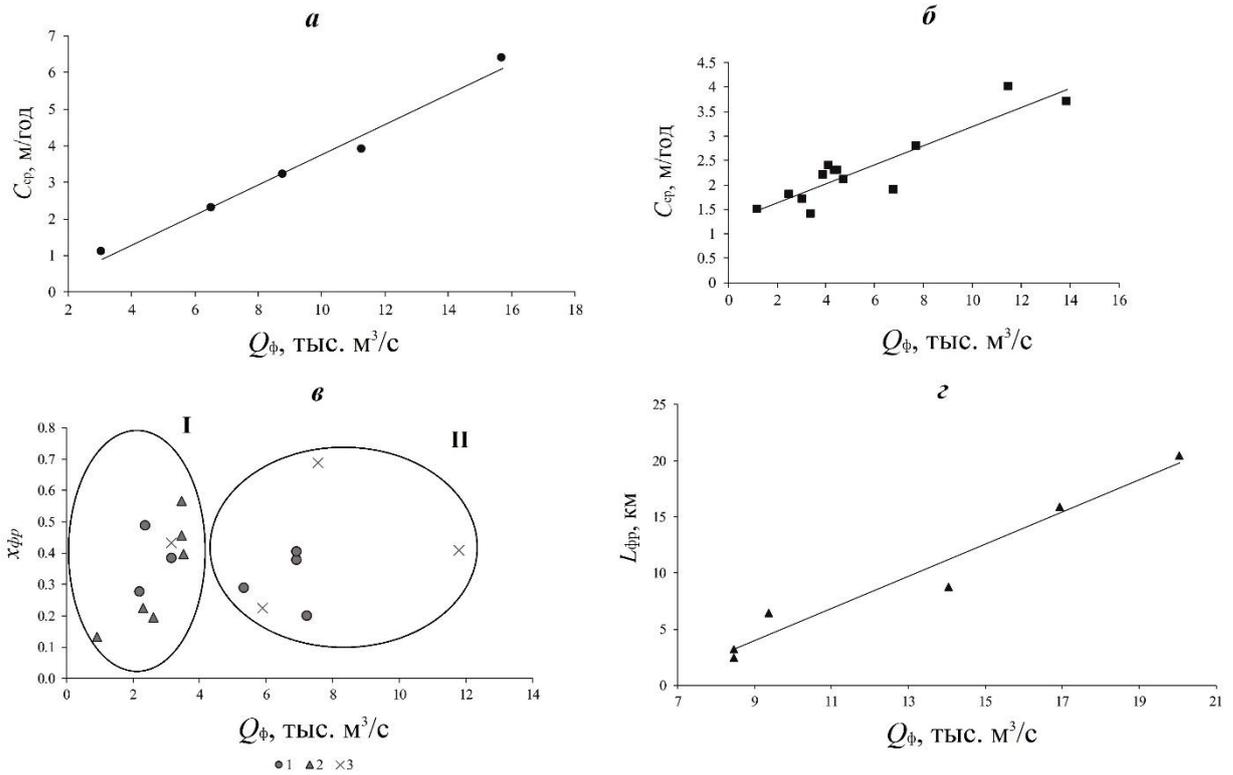


Рисунок 6.4.2 – Зависимость средней скорости размыва берегов ($C_{ср}$, м/год) (а,б), относительной протяженности размыва берегов ($x_{фр}$) (в) и длины фронта размыва ($L_{фр}$, км) (г) от руслоформирующих расходов воды ($Q_{ф}$, тыс. м³/с): **а** – единое русло нижней Оби (устье Иртыша – с. Перегребное), **б** – Малая Обь (выше протоки Большой Нюрик), **в** – Горная Обь (I – раздвоенное русло Горной Оби, II – единое русло Горной Оби), **г** – Большая Обь.

Обь (от устья р. Томи до г. Салехарда)

Степень развитости свободных излучин русла, рукавов раздвоенного русла и рукавов пойменно-русловых разветвлений, излучин рукавов, огибающих острова в одиночных, односторонних или сопряженных разветвлениях определяет скоростное поле потока, расположение и протяженность фронта и интенсивность размыва берегов в их пределах [Маккавеев, 1955; Проектирование..., 1964; Чалов, 2011; Куракова, 2022]. На Оби точки на графике связи скорости размыва берегов от степени развитости свободных излучин русла $C=f(l/L)$, излучин рукавов раздвоенных русел, пойменно-русловых и русловых (островных) разветвлений можно разделить на группы в соответствии со степенью их развитости (рисунок 6.4.3): I – пологие ($l/L=1,1\div 1,4$), II – развитые ($l/L=1,4\div 1,7$) и III – крутые ($l/L>1,7$) (по классификации [Чалов и др, 2004]); все они описываются верхними огибающими как для Оби в целом, так и отдельно для ее участков: 1 – средняя Обь до устья р. Ваха, 2 – широтный участок Оби, 4 – раздвоенное русло нижней Оби

(рисунок 6.4.3), показывая, что скорости размыва берегов растут излучинах всех видов или положения в русле до значения $l/L=1,7$, после чего интенсивность горизонтальных деформаций снижается. Пологие излучины русла и рукавов в русловых (островных) разветвлениях на Оби, для которых слабо выражены дифференциация поля скорости потока и циркуляционные течения [Чалов, 2011], представлены полем точек I (рисунок 6.4.3). На их положение оказывают большее влияние местные условия (тип русла и сопряжение с соседними формами русла, наличие побочной или осередков, взаимодействие пойменного и руслового потоков и т.д.), локально воздействующие на структуру потока [Куракова, 2022].

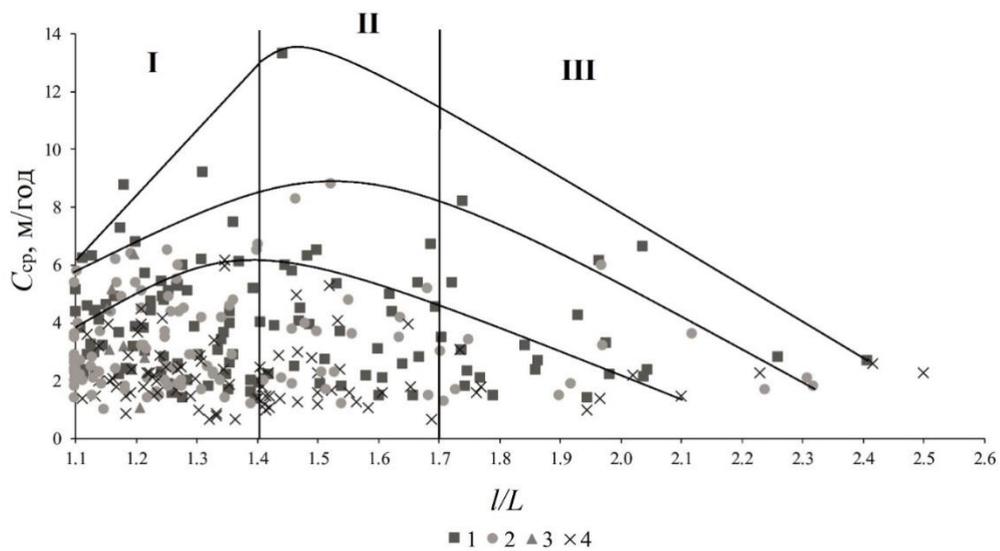


Рисунок 6.4.3 – Зависимость средней скорости размыва берегов ($C_{ср}$, м/год) от степени развитости форм русла (l/L): 1 – средняя Обь (слияние с р. Томью – устье р. Ваха), 2 – средняя Обь (устье р. Ваха – слияние с р. Иртышом), 3 – единое русло нижней Оби (устье Иртыша – с. Перегрёбное), 4 – раздвоенное русло нижней Оби. I – пологие, II – развитые, III – крутые излучины.

При переходе к развитым излучинам ($l/L=1,4\div 1,7$) на средней и нижней Оби интенсивность размыва берегов достигает максимума (рисунок 6.4.3), после чего снижается. Это обусловлено утратой извилистой формой русла гидравлической выгоды, ростом потерь напора [Маккавеев, 1955], и, как следствие, снижением интенсивности русловых деформаций [Попов, 1965; Чалов и др., 2004]. На этом этапе возрастает также вероятность (максимум при $l/L=1,6$) спрямления излучины за счет сосредоточения значительной части вод, затопивших пойму в половодье, в тыловой пониженной части пойменной шпоры и установления вдоль нее наибольшего продольного уклона [Попов, 1965]. Отсутствие на Оби явной границы перехода ($l/L \approx 1,4-1,5$) к снижению

скоростей размыва берегов, вероятно, обусловлено бóльшим количеством факторов, влияющих на развитие свободных излучин (рассредоточение стока по рукавам разветвлений и раздвоенного русла и отвлечение части стока, хотя и незначительной в пойменные протоки, берущие начало в пределах излучины, разветвления и т.д., взаимодействие руслового и пойменного потоков при длительном и глубоком затоплении поймы, сопряжение с соседними типами русла и т.д.). При увеличении l/L , когда излучины Оби становятся крутыми или даже гипертрофированными ($r < 3b_p$) по форме (в основном в рукавах раздвоенного русла), вследствие чего происходит нарушение правила Миловича, скорости размыва берегов еще больше уменьшаются (рисунок 6.4.3) [Куракова, 2022]. Такая закономерность распределения скоростей размыва берегов на Оби соответствует переходу от пологих излучин к развитым, а затем к крутым, что также находит отражение в последовательной смене продольного их смещения продольно-поперечным и поперечным [Чалов и др., 2004].

Другой важный параметр – радиус кривизны (r , км) – не является безразмерным; поэтому анализ связи с ним размывов берегов проводится по участкам с одинаковой водоносностью, т.к. $r=f(Q)$. При бóльшем радиусе кривизны (излучины более пологие) средняя скорость размыва берегов меньше, так как у них циркуляционные течения выражены слабее, а скорости течения относительно выровнены по ширине русла [Куракова, 2022]. Зависимость $C=f(r)$ на средней и нижней Оби описывается линейным уравнением вида $C_{cp}=-ar+b$, различаясь на каждом из ее участков (рисунок 6.4.4, таблица 6.4.1.).

Таблица 6.4.1 – Коэффициенты a и b в уравнениях связи $C_{cp}=ar+b$ для средней и нижней Оби

| Участок | Зависимость | a | b |
|---------|-------------|-------|------|
| а | | -2,14 | 8,13 |
| б | I | -2,11 | 8,34 |
| | II | -2,46 | 12,8 |
| в | | -0,19 | 2,68 |
| е | | -0,69 | 5,63 |

На средней Оби (участок между устьями Васюгана до Тыма) связь имеет вид – $C_{cp}=-2,14r+8,13$, которая объединяет излучины как русла, так и рукавов пойменно-русловых разветвлений (рисунок 6.4.4а). Ниже по течению в правом рукаве раздвоенного русла собственно Оби, где влияние рассредоточенности стока увеличивается (рисунок 6.4.4б), эта зависимость отдельно описывает размывы берегов на излучинах рукавов пойменно-

руслых разветвлений – $C_{cp} = -2,11r + 8,34$ (I) и самого русла – $C_{cp} = -2,46r + 12,8$ (II) [Куракова, Чалов, 2019].

На нижней Оби с бóльшим рассредоточением стока в рукавах раздвоенного русла и по пойменным протокам зависимости имеют свои особенности. На Малой Оби (до ответвления протоки Большой Нюрик и перераспределения стока в рукавах раздвоенного русла) происходит постоянное изменение по длине ее водоносности, и зависимость описывается уравнением $C_{cp} = -0,19r + 2,68$ (рисунок 6.4.4в). Вне этой зависимости расположились точки выше ее, соответствующие излучинам в образовавшихся и активно развивающихся рукавах сложных пойменно-руслых разветвлениях (следствие внутривпойменных перехватов), и в начале Малой Оби и при слиянии ее с р. Северной Сосьвой, т.е. в местах наибольших расходов воды этого рукава; точки ниже зависимости принадлежат излучинам непосредственно после ответвления от Малой Оби крупных пойменных проток и рукавов раздвоенного русла (Тоготской Оби и протоки Вайсова), где общий расход воды Малой Оби составляет всего 5 % от Оби в целом (рисунок 4.3.1) [Куракова, Чалов, 2020].

Ниже захода в поперечный рукав – протоку Большой Нюрик расход воды Малой Оби снижается, но рассредоточенность стока увеличивается. Это приводит к тому, что связь между скоростью размыва и радиусом кривизны описывается только убывающей верхней огибающей (рисунок 6.4.4г) [Чалов, Завадский, Камышев, Куракова и др., 2021]. На Горной Оби рассредоточенность стока также играет важную роль, и точки разделяются, как и у зависимости относительной протяженности фронта размывов от расходов воды рукавов, на раздвоенное (I) и единое (II) русло (рисунок 6.4.4д). При этом в раздвоенном русле при широком диапазоне радиусов кривизны излучин темпы отступления берегов меньше в 2 раза (Куракова, Чалов, 2020). На Большой Оби, протекающей преимущественно вдоль правого коренного берега и от которой мало ответвляются пойменные протоки (ответвления), зависимость описывается одним линейным уравнением – $C_{cp} = -0,69r + 5,63$ (рисунок 6.4.4е) [Чалов, Завадский, Камышев, Куракова и др., 2021].

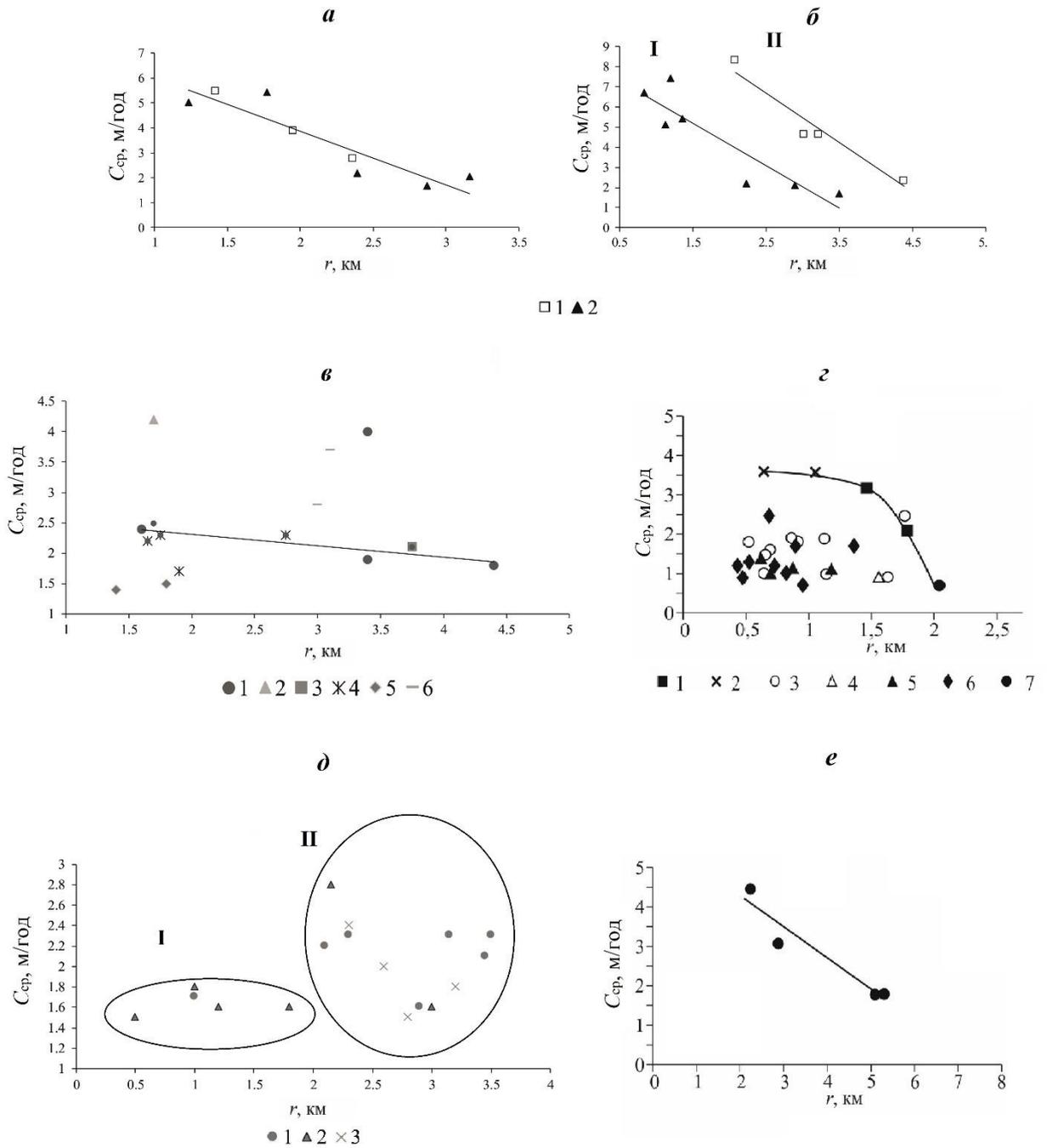


Рисунок 6.4.4 – Зависимость средней скорости размыва берегов ($C_{\text{ср}}$, м/год) от радиусов кривизны излучин русла и рукавов разветвлений разного типа (r , км):

а – средняя Обь (участок между устьями рек Васюгана и Тыма); **б** – средняя Обь (участок от ответвления проток Неулева до устья р. Иртыша): 1 – излучины русла, 2 - излучины рукавов пойменно-русловых разветвлений (I – излучины рукавов пойменно-русловых разветвлений, II – излучины русла); **в** – Малая Обь (выше протоки Большой Нюрик) (см. рисунок 4.1.3): 1 – до захода в Тоготскую Обь, 2 – от захода в Тоготскую Обь до захода в Лапорскую протоку, 3 – от захода в Лапорскую протоку до захода в протоку Пырсим, 4 –

от захода в протоку Пырсим до захода в протоку Вайсову, 5 – от захода в протоку Вайсову до устья Тоготской Оби, 6 – от устья Тоготской Оби до захода в протоку Большой Нюрик; *z* – Малая Обь (ниже протоки Большой Нюрик) (см. рисунок 4.1.3): 1 – от захода в протоку Большой Нюрик до захода в пойменную протоку Мояхтас; 2 – от захода до устья протоки Мояхтас; 3 – от устья протоки Мояхтас до устья р. Сыни; 4 – от устья р. Сыни до захода в пойменную протоку Илюшинская Обь; 5 – от захода в протоку 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; *d* – Горная Обь (см. рисунок 4.1.3): 1 – до захода в правый рукав раздвоенного русла (Сомутнельскую протоку), 2 – русло от захода до устья Сомутнельской протоки, 3 – ниже устья Сомутнельской протоки. I – раздвоенное русла Горной Оби, II – формы единого русла Горной Оби; *e* – Большая Обь.

Меньшие темпы размыва берегов при больших радиусах кривизны русла коррелируют с увеличением протяженности фронта размыва берегов, что объясняется обратной зависимостью радиуса r от степени развитости излучины: $r \sim (l/L)^n$ [Чалов и др., 2004; Куракова, 2022]. Это нашло подтверждение как на средней, так и на нижней Оби (рисунок 6.4.5). На средней Оби (от устья Ваха до захода в Юганскую Обь) зависимость описывается уравнениями линейного вида $L_{\text{фр}} = ar - b$, но дифференцируется по степени развитости излучин (рисунок 6.4.5а, таблица 6.4.2): от I – более крутые формы русла к III – более пологие формы русла коэффициенты a и b снижаются с 5,6 до 2,0 и 5,2 до 3,7, соответственно.

Таблица 6.4.2 – Коэффициенты a и b в уравнениях связи $L_{\text{фр}} = ar - b$ для средней и нижней Оби

| Участок | Зависимость | a | b |
|---------|-------------|------|------|
| а | I | 5,6 | 5,2 |
| | II | 2,6 | 3,3 |
| | III | 2 | 3,7 |
| б | | 2,58 | 0,61 |
| в | | 3,16 | 4,73 |
| г | I | 5,91 | 4,95 |
| | II | 2,73 | 2,61 |
| е | III | 9,28 | 19,1 |
| ж | | 1,99 | 1,64 |

На широтном участке в сложном трехрукавном пойменно-русловом разветвлении связь между длиной фронта размыва и радиусом кривизны описывается уравнением $L_{\text{фр}} = 2,58r - 0,61$ (рисунок 6.4.5б); для единого русла нижней Оби (от устья Иртыша до с. Перегрёбного), представляющий собой морфологически однородный участок с мало

изменяющейся по длине водоносностью, одно уравнение – $L_{фр}=3,16r-4,73$ (рисунок 6.4.5в)
[Куракова, Чалов, 2019].

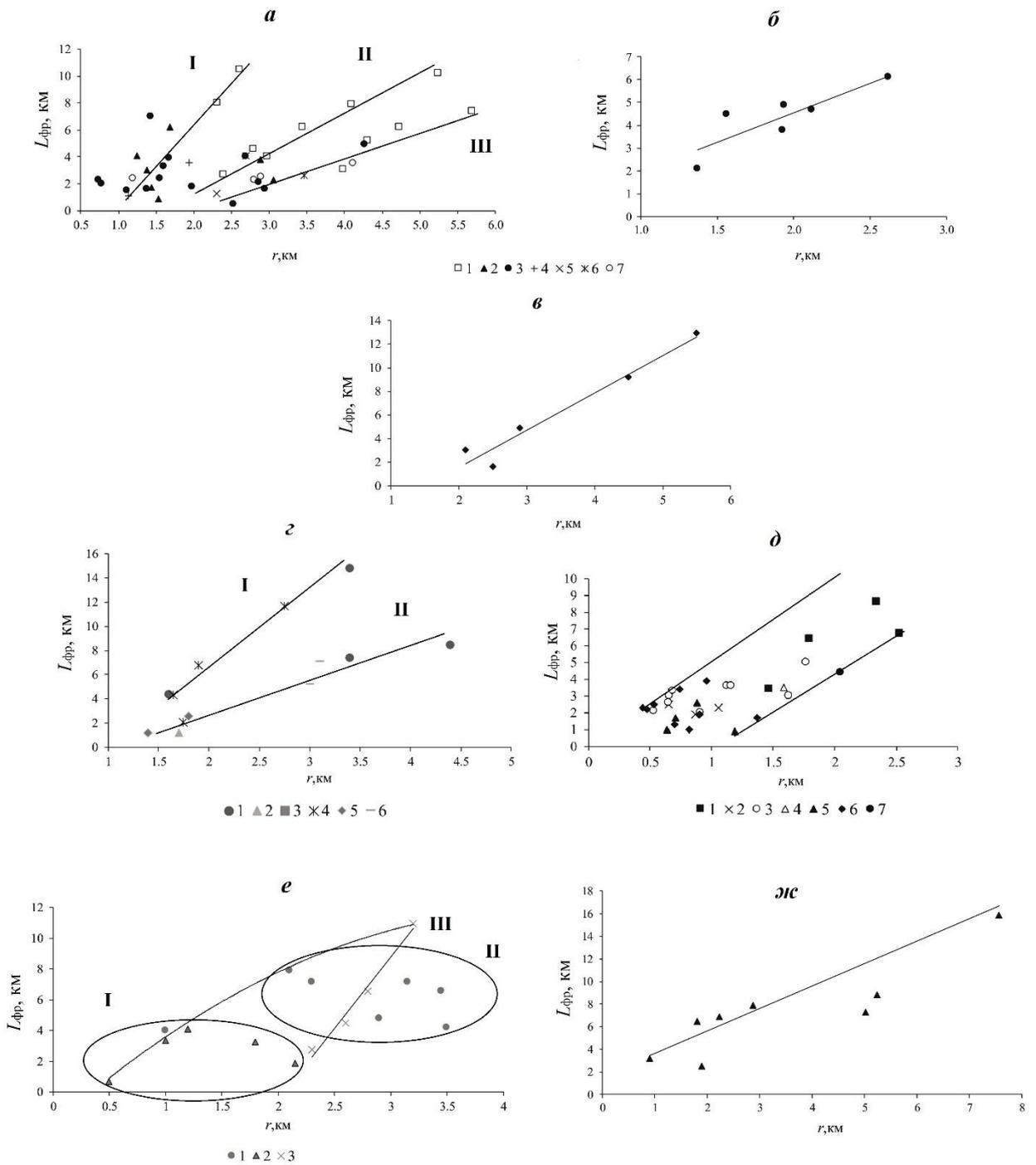


Рисунок 6.4.5 – Зависимость протяженности фронта размыва берегов ($L_{фр}$, км) от радиусов кривизны форм русла (r , км): **а** – средняя Обь (от устья р. Ваха до захода в Юганскую Обь): I – крутые, II – развитые, III – пологие излучины; **б** – средняя Обь (между устьем Юганской Оби и заходом в Большую Сомутнельскую протоку): 1 – излучины русла; 2 – пойменно-русловые разветвления; 3 – сложные трехрукавные разветвления; 4 – прорванные излучины (новое русло); 5 – прорванные излучины (старое русло); 6 –

сопряженные разветвления; 7 – одиночные разветвления; *в* – единое русло нижней Оби (устье Иртыша – с. Перегрёбное); *г* – Малая Обь (выше протоки Большой Нюрик): 1-6 – см. подписи к рисунку 6.4.4, I – развитые и крутые, II – пологие излучины; *д* – Малая Обь (ниже протоки Большой Нюрик): 1-7 – см. подписи к рисунку 6.4.4; *е* – Горная Обь: 1-3 – см. подписи к рисунку 6.4.4; I – излучины раздвоенного русла Горной Оби, II – излучины рукавов русловых разветвлений единого русла Горной Оби выше захода в Сомутнельскую протоку, III – излучины единого русла Горной Оби ниже впадения Сомутнельской протоки; *ж* – Большая Обь.

В нижней части рукавов раздвоенного русла связи имеют разный характер из-за различий в рассредоточении стока, влиянии коренного берега, параметрах форм русла и др. На Малой Оби, несмотря на колебание водоносности по длине, точки разделяются, прежде всего, по типу излучин – развитые, крутые (I) и пологие (II) (рисунок 6.4.5г). Коэффициенты *a* и *b* в уравнении $L_{\text{фр}}=ar-b$ для этих зависимостей равны 5,91 и 4,95 в первом случае и 2,73 и 2,61 – во втором. Ниже по течению из-за бóльшей рассредоточенности стока Малой Оби связь описывается возрастающими верхней и нижней огибающими (рисунок 6.4.5д). Для Горной Оби эта зависимость описывается для верхней огибающей (рисунок 6.4.5е). При этом все точки разделилась на две группы: I – излучины раздвоенного русла Горной Оби в пойменных берегах и прорванная излучина выше по течению, представляющая собой также разветвление русла; II – излучины единого русла Горной Оби выше ее раздвоения, испытывающие влияние правого коренного берега. Отдельно выделяется зависимость для излучин единого русла Горной Оби ниже впадения Сомутнельской протоки (III) с двусторонней поймой, характеризующаяся линейной зависимостью $L_{\text{фр}}=9,28r-19,1$ [Куракова, Чалов, 2020], что, очевидно, связано с увеличением ее общего расхода воды за счет впадения правого притока – р. Казыма. Для излучин русла и рукавов одиночных разветвлений в начале Большой Оби зависимость описывается уравнением $L_{\text{фр}}=1,99r+1,64$ (рисунок 6.4.5ж).

Наибольшая протяженность фронта размыва берегов у более пологих излучин подтверждается не только связью $L_{\text{фр}}=f(r)$, но и зависимостью от шага излучин ($L_{\text{изл}}$) или разветвлений ($L_{\text{разв}}$) (рисунок 6.4.6, таблица 6.4.3). Излучины с меньшим шагом (т.е. более крутые) имеют более короткий фронт размыва берегов по сравнению с излучинами, характеризующимися бóльшим шагом (т.е. более пологими) [Куракова, 2022].

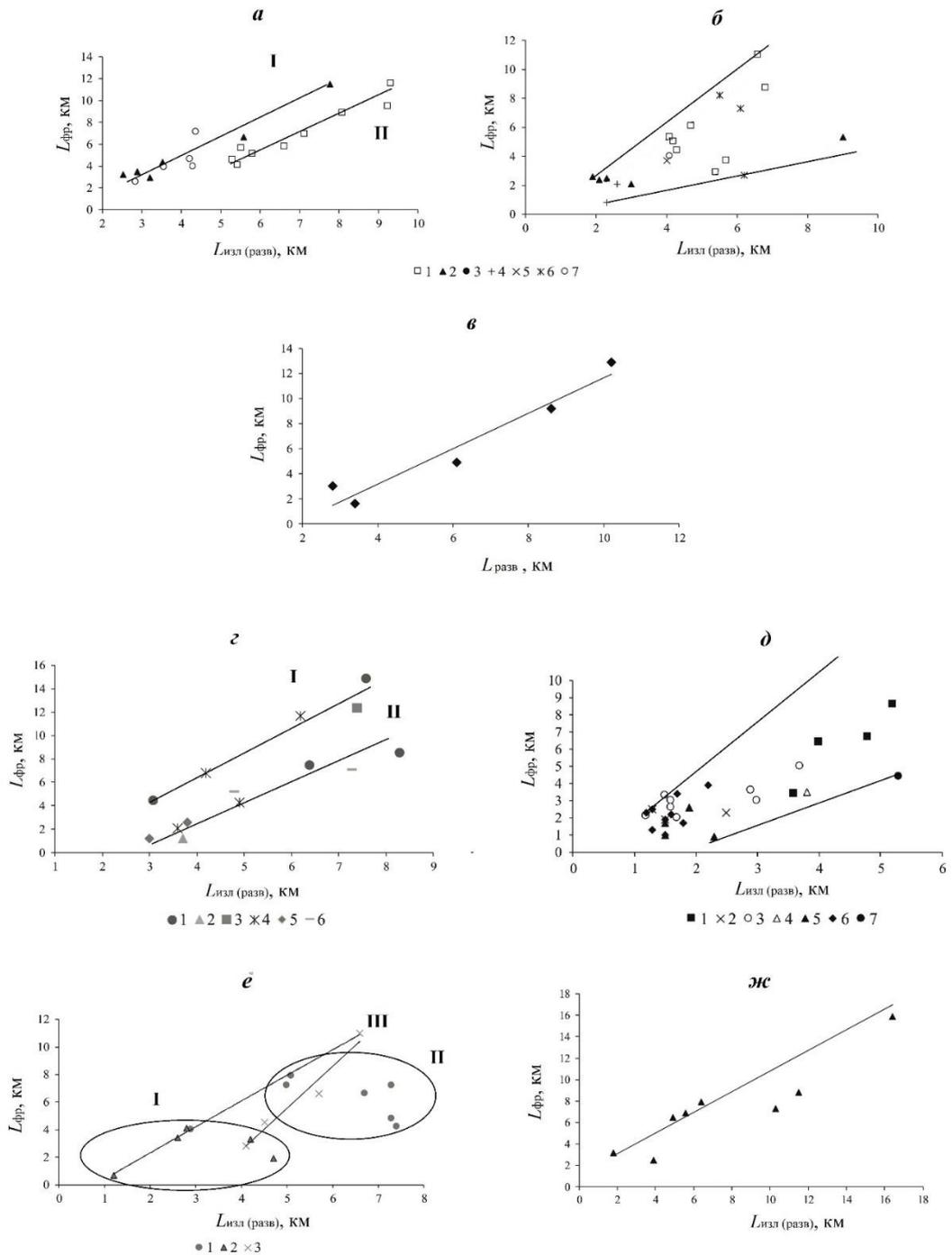


Рисунок 6.4.6 – Зависимость протяженности фронта размыва берегов ($L_{фр}$, км) от шагов форм русла ($L_{изл(разв)}$, км): **а** – средняя Обь (участок между устьями Тыма и Ваха): I – излучины рукавов пойменно-русловых и русловых (островных) разветвлений, II – излучины русла; **б** – средняя Обь (участок между заходом и устьем Юганской Оби): 1-7 – см. подписи к рисунку 6.4.5; **в** – единое русло нижней Оби (устье Иртыша – с. Перегрёбное); **г** – Малая Обь (выше протоки Большой Нюрик): 1-6 – см. подписи к рисунку 6.4.4; I – развитые и крутые, II – пологие излучины; **д** – Малая Обь (ниже протоки Большой Нюрик): 1-7 – см. подписи к рисунку 6.4.4; **е** – Горная Обь: 1-3 – см. подписи к рисунку 6.4.4; I – формы раздвоенного русла Горной Оби, II – формы единого русла

Горной Оби выше захода в Сомутнельскую протоку, III – формы единого русла Горной Оби ниже слияния с Сомутнельской протокой; *ж* – Большая Обь.

Таблица 6.4.3 – Коэффициенты a и b в уравнениях связи $L_{\text{фр}}=aL-b$ для средней и нижней Оби

| Участок | Зависимость | a | b |
|---------|-------------|------|-------|
| а | I | 1,65 | 1,77 |
| | II | 1,53 | 3,72 |
| в | | 1,4 | 2,43 |
| г | I | 2,11 | 2,07 |
| | II | 1,46 | 3,03 |
| е | III | 3,03 | 9,62 |
| ж | | 0,97 | -1,14 |

На средней Оби ввиду большего морфологического разнообразия русла, эта связь проявляется отдельно для разветвлений (пойменно-русловых и островных) (I) – $L_{\text{фр}}=1,65L_{\text{разв}}-1,77$ и для излучин русла (II) – $L_{\text{фр}}=1,53L_{\text{изл}}-3,72$ (рисунок 6.4.6а). Ниже по течению в раздвоенном русло (его начало выше г. Сургута) вследствие рассредоточения стока зависимость описывается только для верхней и нижней огибающих (рисунок 6.4.6б).

В едином русле нижней Оби (от слияния с Иртышом до с. Перегрёбного), представленного одиночными разветвлениями, протяженность размываемых берегов ($L_{\text{фр}}$) больше у тех из них, которые образованы большими островами («конгломератами» из 8–10 объединившихся элементарных островов [Голубцов, Чалов, 2019]) $L_{\text{фр}}=1,4L_{\text{разв}}-2,43$ (рисунок 6.4.6в). В левом рукаве раздвоенного русла – Малой Оби, русло которой меандрирует, $L_{\text{фр}}=2,11L_{\text{изл}}-2,07$ для развитых и крутых излучин (I) и $L_{\text{фр}}=1,46L_{\text{изл}}-3,03$ для пологих (II) (рисунок 6.4.6г). Как и в случае с $L_{\text{фр}}=f(r)$, ниже по течению точки Малой Оби и Горная Обь описываются огибающими: на первой – верхней и нижней, на второй только верхней (рисунок 6.4.6д, е). Помимо разделения на последней по участкам рукавов раздвоенного русла, для излучин ниже устья Сомутнельской протоки связь описывается уравнением $L_{\text{фр}}=3,03L_{\text{изл}}-9,62$ (рисунок 6.4.6е) [Куракова, Чалов, 2020]; для Большой Оби ввиду меньшего по сравнению с Малой Обью разнообразием типов русла и изменением водоносности по длине связь описывается единым линейным уравнением вида – $L_{\text{фр}}=0,97L_{\text{изл(разв)}}+1,14$ (рисунок 6.4.6ж).

Иртыш (от устья р. Тары до слияния с р. Обью)

На нижнем Иртыше зависимость скорости размыва берегов от степени развитости свободных излучин русла также, как и на Оби описывается верхней огибающей, и точки разделяются на группы по степени их развитости (рисунок 6.4.7а,б): I – пологие

($l/L=1,1\div 1,4$), представленные полем точек, II – развитые ($l/L=1,4\div 1,7$) с максимальными размывами берегов, III – крутые ($l/L>1,7$) с постепенным снижением темпов смещения русла и размывов берегов. На нижнем Иртыше уменьшение скорости размыва берегов фиксируется на излучинах с $l/L\approx 1,55$. В отличие от Оби, на Иртыше этот переход более выражен четко [Куракова, 2022], что, очевидно, связано тем, что на нем значительно меньше факторов, способных оказать влияние на структуру потока и развитие свободных излучин, нижний Иртыш в основном имеет неразветвленное русло шириной до 1 км с отсутствием пойменных проток, по которым может происходить рассредоточение стока, за исключением самых низовьев реки, где у нее общая пойма с Обью.

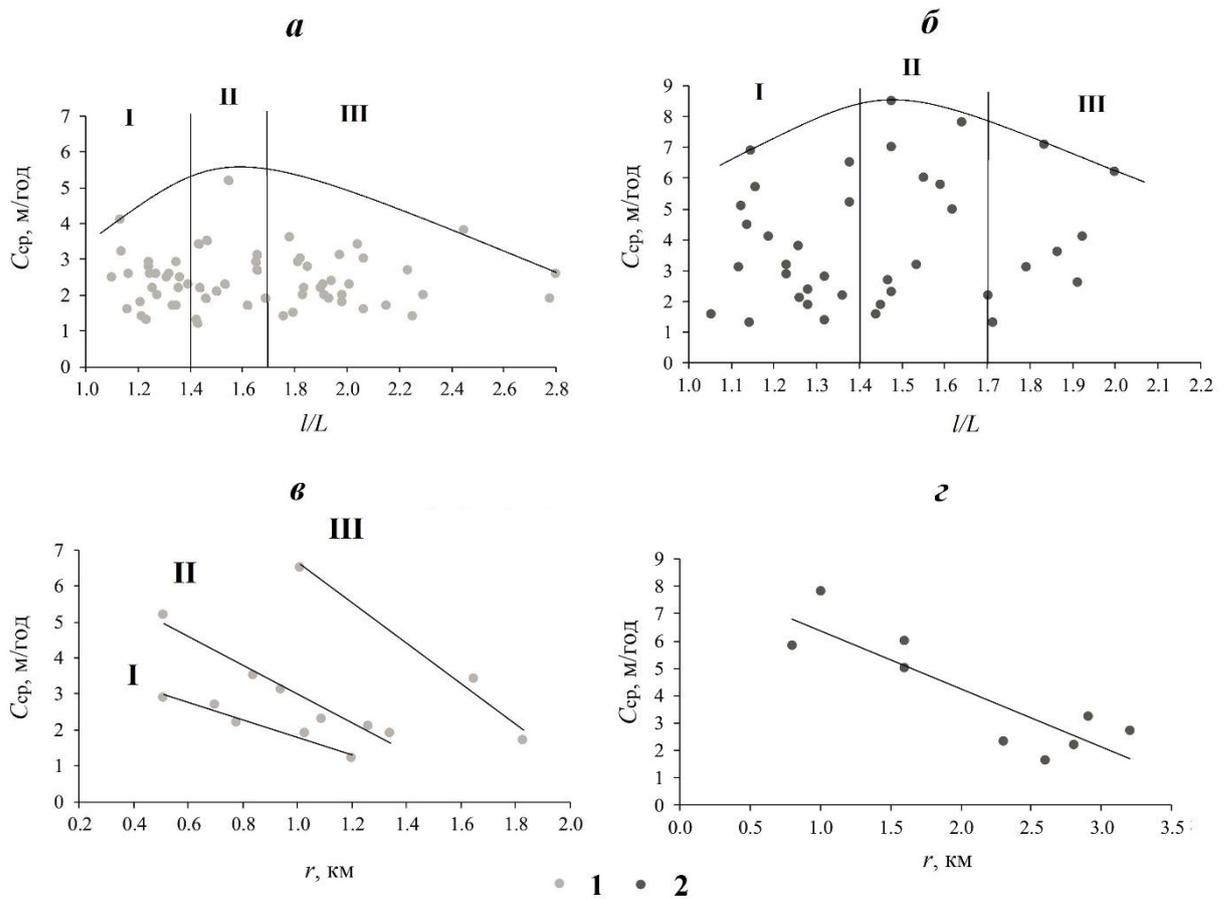


Рисунок 6.4.7 – Зависимость средней скорости размыва берегов (C_{cp} , м/год) от степени развитости (l/L) (**a**, **б**) и радиусов кривизны форм русла (r , км) (**в**, **г**) на Иртыше выше устья р. Тобола (1) и ниже устья р. Тобола (2). Излучины: **a**, **б** – I – пологие, II – развитые, III – крутые излучины; **в** – I, II – более крутые, III – более пологие излучины

Зависимость интенсивности горизонтальных русловых деформаций от радиуса кривизны r получена для развитых излучин нижнего Иртыша, находящихся в однородных условиях. Они наиболее полно отражают условия формирования излучин с хорошо выраженным скоростным полем потока и развитыми циркуляционными течениями [Чалов

и др., 2004]. Зависимость $C=f(r)$ на Иртыше выше устья р. Тобола от зависимости I к III на рисунок 6.4.7в доля пологих излучин увеличивается, коэффициент a уменьшается с -2,41 до -5,59, b – наоборот, увеличивается с 4,21 до 12,2 (таблица 6.4.4); на Иртыше ниже устья р. Тобол связь становится единой – $C_{\text{ср}}=-2,14r+8,53$ (рисунок 6.4.7г), что, возможно, связано с изменением условий формирования русла (расширение ширины поймы и появления пойменной многоруканности к устью реки) [Куракова, 2022].

Таблица 6.4.4 – Коэффициенты a и b в уравнениях связи для Иртыша выше устья р.

Тобола

| Зависимость | $C_{\text{ср}}=ar+b$ | | $L_{\text{фр}}=ar-b$ | | $L_{\text{фр}}=aL+b$ | |
|-------------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|-------|
| | a | b | a | b | a | b |
| I | -2,41 | 4,21 | 5,69 | 2,24 | 1,48 | 0,005 |
| II | -3,98 | 6,99 | 7,8 | 5,23 | 0,95 | -0,17 |
| III | -5,59 | 12,2 | 5,13 | 4,08 | 1,14 | -1,55 |

Зависимость протяженности размываемых берегов $L_{\text{фр}}$ от радиуса кривизны излучин r на Иртыше выше и ниже впадения р. Тобола различны. Выше устья р. Тобола происходит разделение точек на группы в зависимости от степени развитости излучин: от зависимости I к III на рисунок 6.4.8а доля пологих излучин увеличивается. При этом закономерного изменения коэффициентов a и b в этом же направлении не прослеживается (таблица 6.4.4). Ниже устья р. Тобола для излучин Иртыша связь описывается линейным уравнением вида – $L_{\text{фр}}=1,89r+1,15$ (рисунок 6.4.8б), что также связано с расширением поймы и появлением пойменных ответвлений [Куракова, 2022].

Как и зависимость $L_{\text{фр}}=f(r)$, связь между длиной фронта размыва $L_{\text{фр}}$ и шагом излучин $L_{\text{изл}}$ разделяется на три группы, в которых количество пологих излучин увеличивается от зависимости I к III на рисунок 6.4.8в, но коэффициенты в описывающих их уравнениях $L_{\text{фр}}=aL_{\text{изл}}+b$ или не имеют направленного тренда коэффициент a или b уменьшаются (таблица 6.4.4). На Иртыше ниже впадения р. Тобола связь имеет вид – $L_{\text{фр}}=0,99L_{\text{изл}}+0,94$ (рисунок 6.4.8в) [Куракова, 2022].

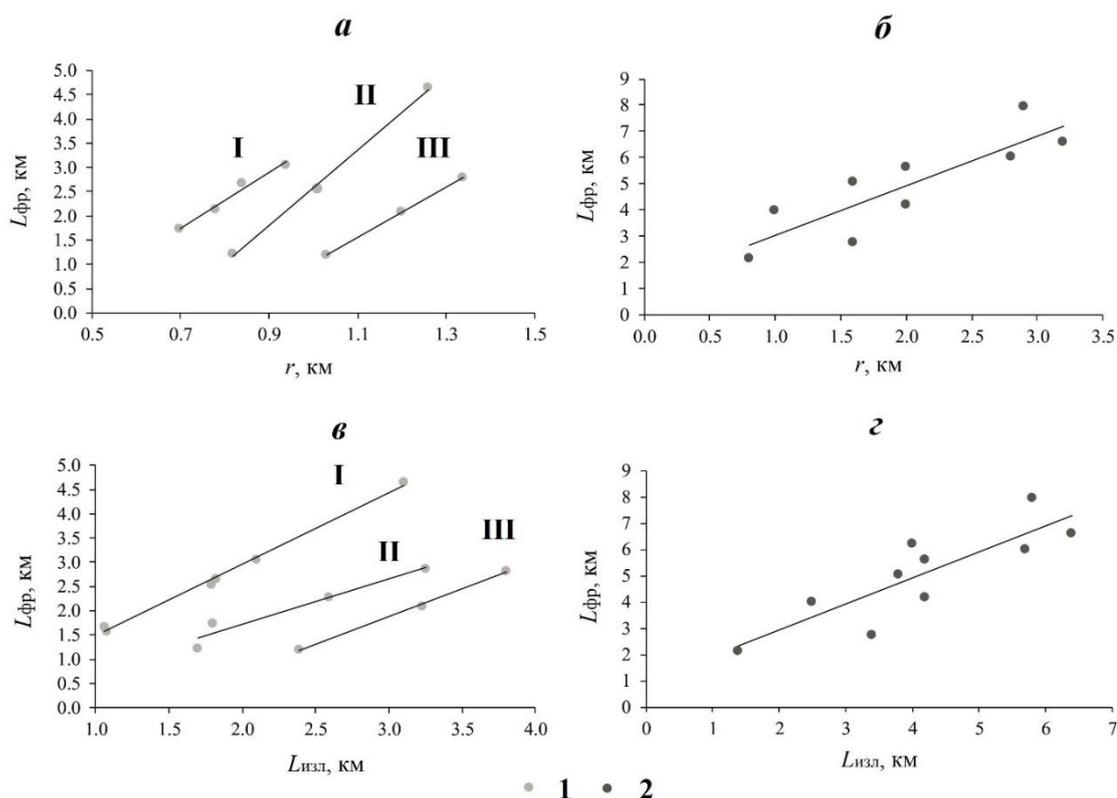


Рисунок 6.4.8 – Зависимость протяженности фронта размыва берегов ($L_{фр}$, км) от радиусов кривизны (r , км) (*a*, *б*) и шагов ($L_{изл}$, км) (*в*, *г*) форм русла на Иртыше выше устья р. Тобола (1) и ниже устья р. Тобола (2). *a* – I – более крутые, II, III – более пологие излучины; *в* – I, II – более крутые, III – более пологие излучины

Остальные реки Обь-Иртышского бассейна

Выделенные районы Обь-Иртышского бассейна отличаются по зависимостям, связывающим характеристики размыва берегов с параметрами форм русла (излучин русла, излучин рукавов пойменно-русловых и одиночных разветвлений, раздвоенных русел). Зависимости были получены для всех районов кроме VII, включающего р. Северная Сосьва, из-за малого количества материала по размывам берегов на формах русла, необходимого для проведения анализа. Для развитых ($l/L=1,4\div 1,7$) излучин русел рек и рукавов разветвлений характерна зависимость $C=f(l/L)$, которая описывается верхними огибающими полей точек (рисунок 6.4.9) [Куракова, в печати]. Скорости размыва берегов возрастают до значений $l/L=1,5-1,6$, после чего снижаются. При этом каждый район отличается по положению вершины перегиба на графиках связи верхней огибающей по диапазону l/L от 1,5 до 1,6 и по величине $C_{ср.макс}$ – от 3,1 до 10,1 м/год, что связано с природными особенностями каждого района, прежде всего, с внутригодовым распределением стока на реках, изменяющемся с севера на юг и с запада на восток

(весенний сток за счет талых вод сменяется грунтово-болотным летом), различиями в степени заозеренности и заболоченности, что также влияет на условия формирования стока.

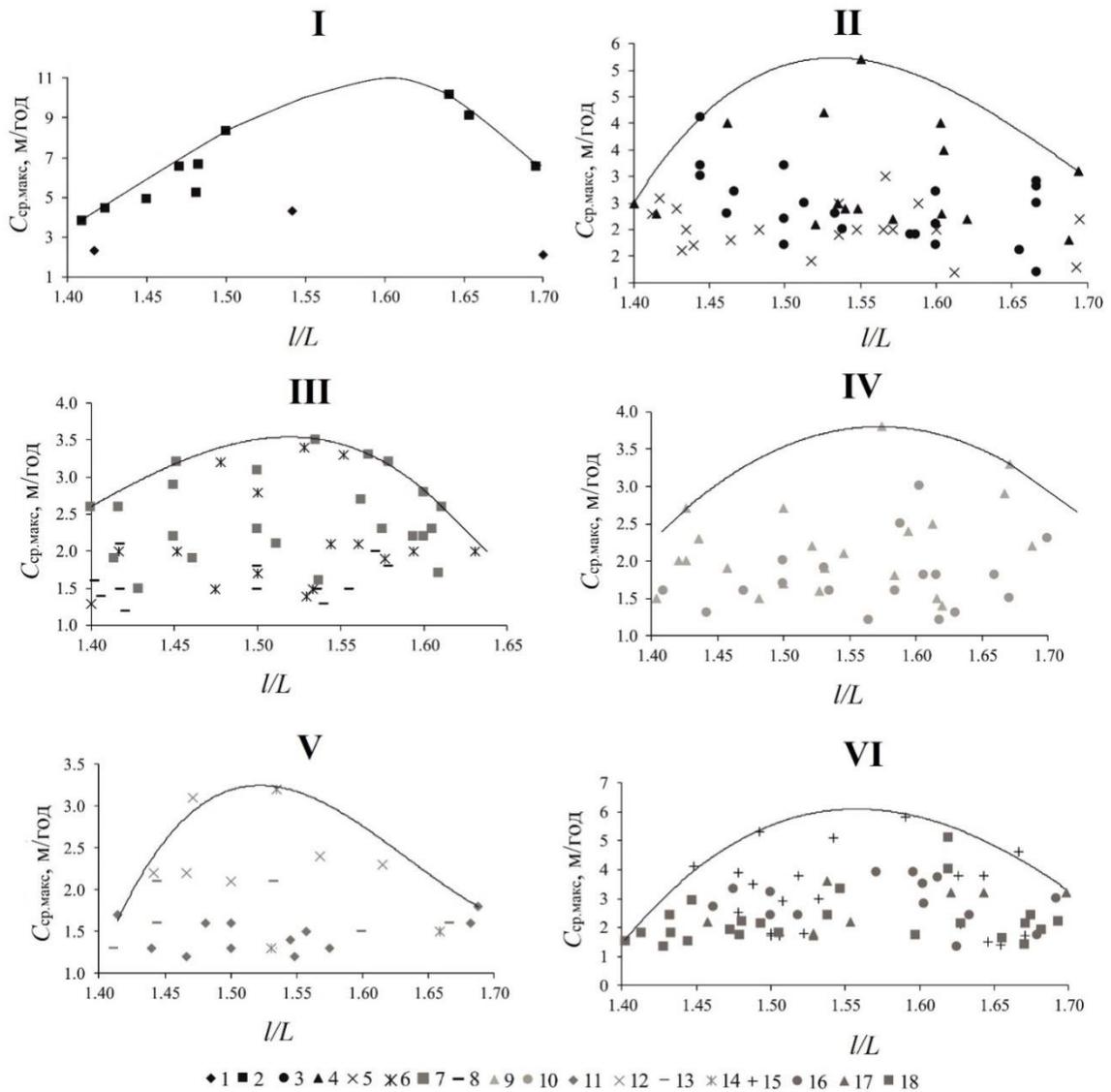


Рисунок 6.4.9 – Связь между степенью развитости (l/L) и среднемаксимальной скоростью размыва берегов ($C_{\text{ср.макс}}$, м/год) на излучинах русла рек Обь-Иртышского бассейна.

I-VI – см. рисунок 6.3.1. 1 – Томь, 2 – Чулым, 3 – Кеть, 4 – Тым, 5 – Вах, 6 – Тромъеган, 7 – Аган, 8 – Лямин, 9 – Казым, 10 – Полуй, 11 – Парабель, 12 – Васюган, 13 – Большой Юган, 14 – Демьянка, 15 – Тобол, 16 – Тура, 17 – Тавда, 18 – Конда

Общая связь радиус кривизны r с скоростью размыва C на реках бассейна не проявляется, т.к. r зависит от водоносности – $r=f(Q)$. Но радиус кривизны r определяет протяженность фронта размыва берегов $L_{\text{фр}}$ (рисунок 6.4.10) [Куракова, в печати].

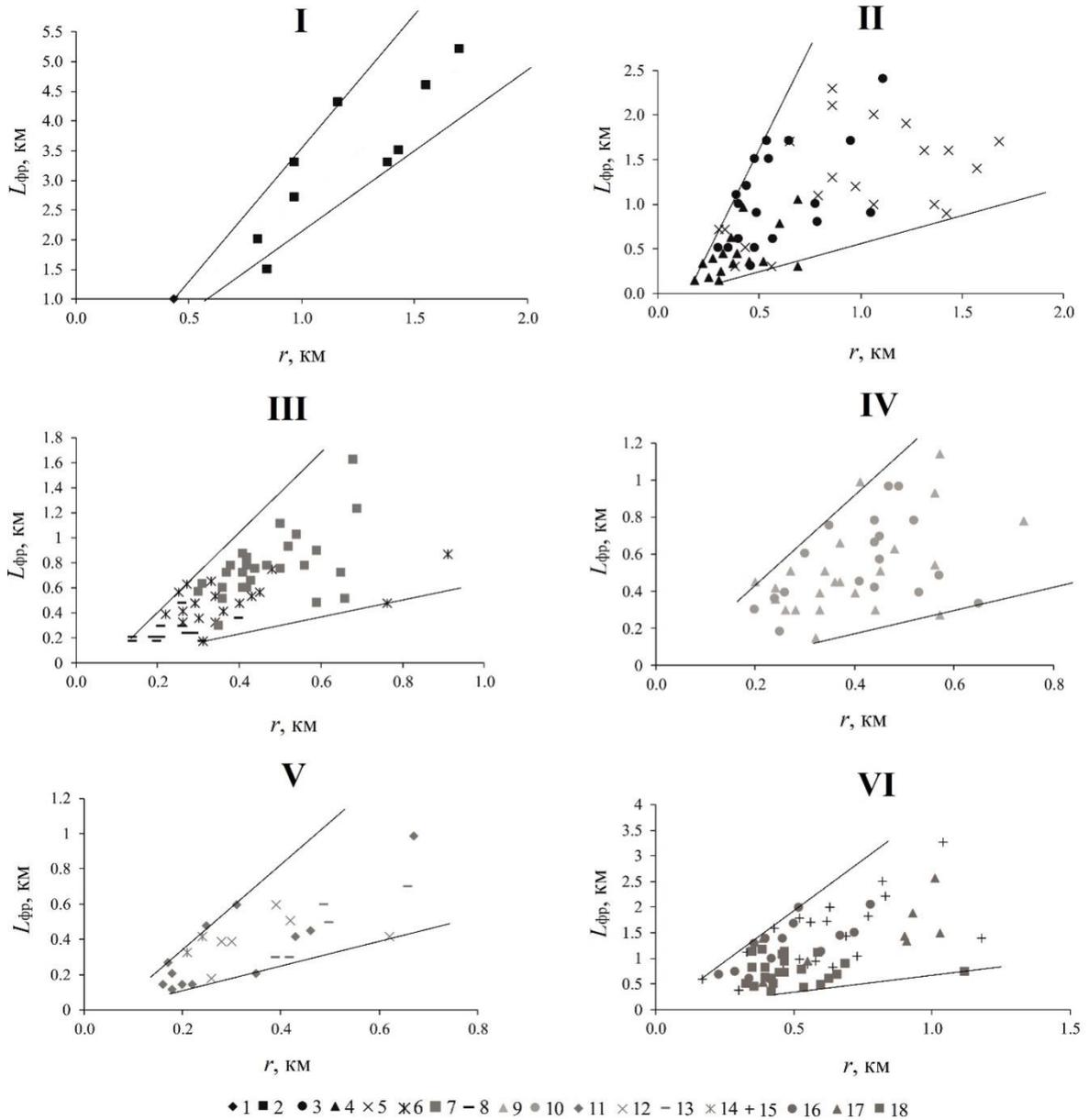


Рисунок 6.4.10 – Связь между радиусом кривизны (r , км) и протяженностью фронта размыва берегов ($L_{\text{фр}}$, км) на излучинах русла рек в различных районах Обь-Иртышского бассейна (см. рисунок 6.3.1). Условные обозначения 1-18 – см. рисунок 6.4.9

Все районы характеризуются возрастающими верхними и нижними огибающими точек на графиках связи $L_{\text{фр}} \sim r$ (рисунок 6.4.10), показывающими, что у более пологих излучин (с большим r) фронт размыва, при прочих равных условиях, длиннее, чем у более крутых (с меньшими r), и описывающихся линейными уравнениями вида $L_{\text{фр}} = ar + b$ (как и на главных реках бассейна – Оби и Иртыше). Расширение диапазона зависимости $L_{\text{фр}} = f(r)$ прослеживается с юга на север по правобережью Оби (районы I-IV) и с востока на запад (районы II, V, VI), что согласуется с условиями формирования стока воды, т.е. $Q = f(N)$. То же происходит и с изменениями коэффициентов a и b в уравнении $L_{\text{фр}} = ar + b$ (таблица 6.4.5).

Таблица 6.4.5 – Коэффициенты a и b в уравнении $L_{фр}=ar+b$ и $L_{фр}=aL+b$

| Район | $L_{фр}=ar+b$ | | | | | $L_{фр}=aL+b$ | | | | |
|-------|----------------------|-------|---------------------|--------|----------|----------------------|-------|---------------------|-------|----------|
| | Верхняя огibaющая | | Нижняя огibaющая | | Диапазон | Верхняя огibaющая | | Нижняя огibaющая | | Диапазон |
| | a | b | a | b | | a | b | a | b | |
| I | 4,46 | -0,94 | 3,43 | -0,14 | 0,5 | 2,26 | -1,29 | 1,15 | -0,07 | 0 |
| II | 4,51 | -0,7 | 0,63 | -0,02 | 1,25 | 1,86 | -0,5 | 0,34 | -0,12 | 1,0 |
| III | 3,49 | -0,31 | 0,75 | -0,02 | 0,9 | 1,5 | -0,15 | 0,56 | -0,14 | 1,2 |
| IV | 2,46 | -0,06 | 0,53 | -0,02 | 1,0 | 1,03 | 0,13 | 0,2 | 0,05 | 1,0 |
| V | 2,38 | -0,13 | 0,68 | -0,004 | 0,8 | 1,02 | -0,07 | 0,3 | 0,02 | 0,6 |
| VI | 3,92 | -0,09 | 0,56 | 0,13 | 1,6 | 1,75 | -0,12 | 0,28 | 0,14 | 1,5 |

Коэффициенты верхней огibaющей $L_{фр}=f(r)$ изменяются следующим образом (таблица 6.4.5): a – уменьшается на север и вглубь Обь-Иртышского междуречья, b – увеличивается с юга на север и с востока на запад. Для нижней огibaющей выявленные колебания в значениях a и b выражены хуже: коэффициент a имеет отличие только для I района ($a=3,43$), а для остальных он находится в узком диапазоне (0,53-0,75), тогда как b растет на север и запад.

Наибольшая протяженность размываемых берегов наблюдается у излучин с бóльшим шагом (рисунок 6.4.11).

Как и в случае со связью $L_{фр}=f(r)$, районы характеризуются возрастающими верхними и нижними огibaющими в зависимости между $L_{фр}$ и L (рисунок 6.4.11), которые описываются уравнением вида $L_{фр}=aL+b$ (коэффициенты a и b представлены в таблица 6.4.5). Диапазоны значений расширяются к северу (районы I-IV) и западу (районы II, V, VI). Коэффициенты верхней огibaющей $L_{фр}=f(L)$ имеют следующие тенденции: a – уменьшается на север и к внутренним районам (Обь-Иртышское междуречье), b , наоборот, увеличивается в этих же направлениях. Для нижней огibaющей $L_{фр}=f(L)$ коэффициент a значительно отличается только для I района, для остальных он находится в узком диапазоне (0,2-0,56), b понижен для правобережья Оби (I-III районы).

Проверка полученных результатов была осуществлена путем расчета диапазонов теоретически возможных длин фронтов размыва по уравнениям верхних и нижних огibaющих $L_{фр}=ar+b$ и $L_{фр}=aL+b$ для притоков Оби и Иртыша. Были выбраны неизученные реки Пим и Тара, относящиеся к III и V районам, соответственно. Определенные по космическим снимкам и используемые в расчетах параметры излучин (радиус кривизны и шаг) дали широкий спектр протяженности размываемых берегов (от 100 м до 1 км) для различных излучин. Для тех же излучин на основе сравнения одновременных космических снимков были определены $L_{фр}$, которые попали в полученные диапазоны, тем самым, подтвердив их.

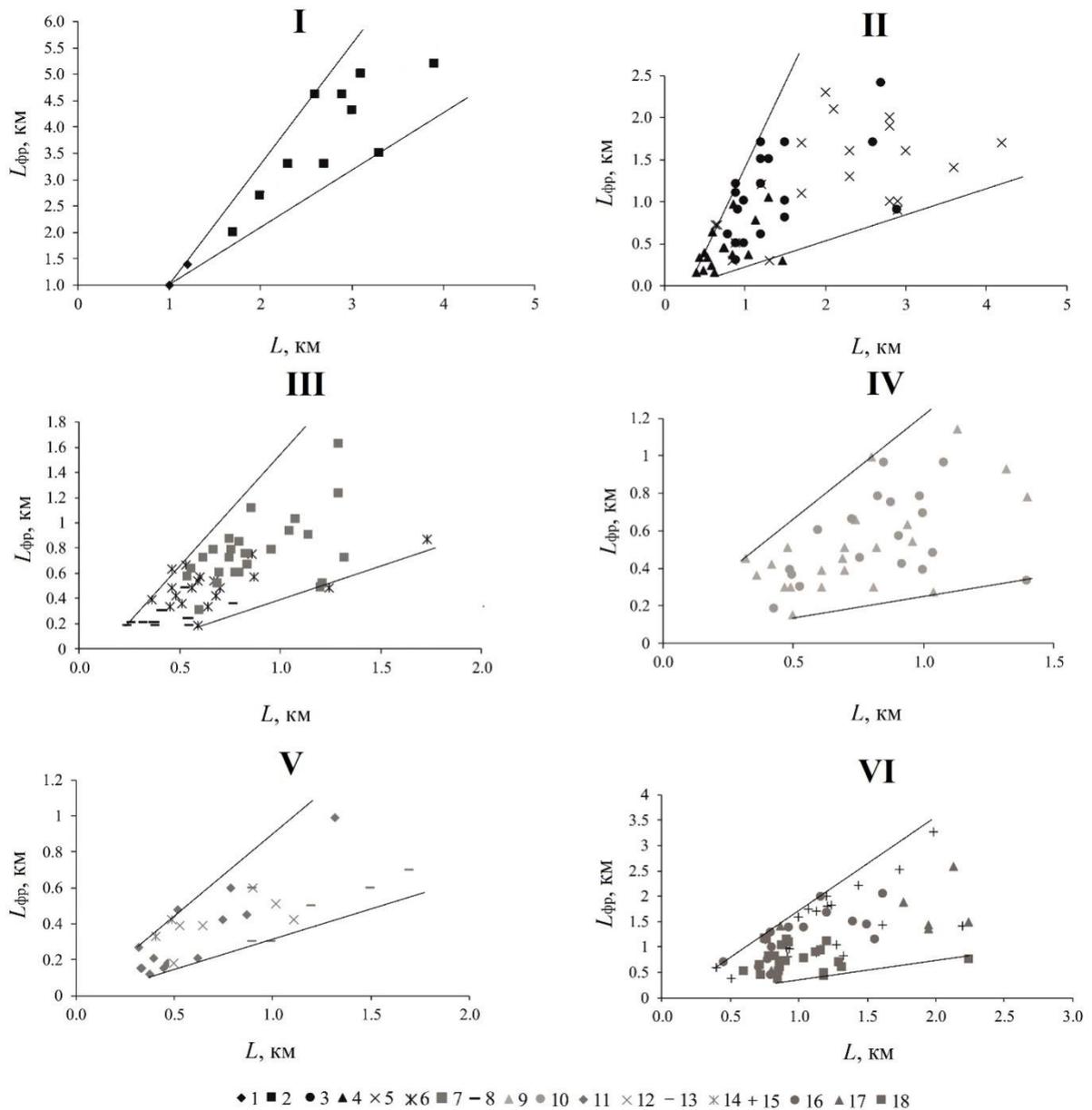


Рисунок 6.4.11 – Связь между шагом (L , км) и протяженностью фронта размыва берегов ($L_{\text{фр}}$, км) на излучинах русла рек в различных районах Обь-Иртышского бассейна (см. рисунок 6.3.1). Условные обозначения 1-18 – см. рисунок 6.4.9

Участки русла средней и нижней Оби и нижнего Иртыша, и районы, объединяющие их притоки, характеризуются как своими особенностями гидролого-морфологических зависимостей, так и значениями коэффициентов в уравнениях, связывающих показатели размыва берегов с определяющими факторами.

На *средней и нижней Оби* изменение коэффициентов уравнений сверху вниз по течению обусловлено большим количеством факторов, каждый из которых оказывает влияние на развитие русла, и в размывах берегов проявляется уже их интегральный эффект.

Прежде всего, это – рассредоточение стока по рукавам раздвоенного русла, пойменно-русловым (в т.ч. сложным) и русловым (островным) разветвлениям и пойменным протокам (ответвлениям), происходящее на фоне постоянных изменений ширины поймы Оби, по которой в половодье происходит растекание потока (руслоформирующий расход на большей части реки проходит при затопленной пойме), аккумуляция наносов на ее поверхности, а затем – слив осветленных вод с поймы и из пойменных проток, способствующий активизации размывов берегов. Одновременно происходит постоянная смена типов русла, сопряженное развитие смежных форм русла и изменение их параметров. Местами в среднем, и постоянно в нижнем течении Оби (в т.ч. в правых рукавах раздвоенного русла) большое влияние на формирование русла оказывает правый коренной берег, оказывающий направляющее воздействие на поток и ограничивающий горизонтальные русловые деформации.

На *нижнем Иртыше*, несмотря на постепенное увеличение вниз по течению расхода воды, изменение ширины днища долины и периодическое влияние коренного берега при абсолютном преобладании меандрирующего русла, уравнения связи и коэффициенты в них отличаются для излучин в зависимости от степени их развитости. В то же время параметры форм русла сами зависят от условий формирования русла.

Для *притоков Оби и Иртыша*, объединяющихся в районы, гидролого-морфологические зависимости и уравнения, описывающие их, зависят во многом от природных условий, их характеризующих, увлажненности территории, заболоченности, заозеренности и залесенности и гидрогеологии бассейнов, проявляющиеся через внутригодовое распределение стока рек, и их русловой режим, в т.ч. активность горизонтальных русловых деформаций.

6.5. Учет опасности русловых процессов и их прогнозные оценки при водохозяйственном освоении рек

В Обь-Иртышском бассейне имеется ряд участков на реках, где размывы берегов представляют реальную опасность и приводят к неблагоприятным последствиям, которые осложняют водохозяйственное и водотранспортное освоение территории.

В среднем течении Оби в районе г. Колпашево наблюдается очень сильный размыв песчаной террасы (рисунок 6.5.1), уступ которой образует вогнутый берег вписанной излучины. За последние 100 лет берег здесь отступил на более чем 1,5 км, что привело к утрате значительной части города (рисунок 6.5.2)

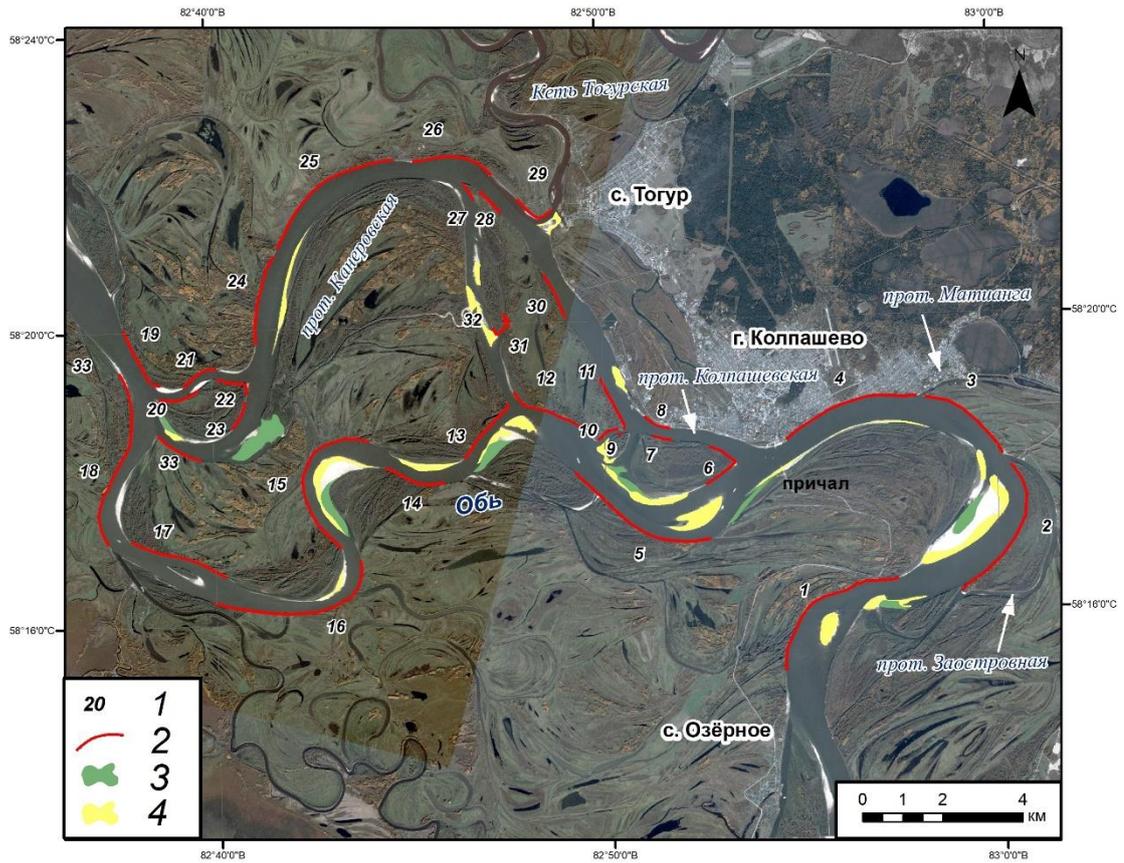


Рисунок 6.5.1 – Размывы берегов на Колпашевских излучинах средней Оби (1237-1283 км): 1 – номера фронтов размыва в таблице 6.5.1, 2 – положения фронтов размыва берегов, 3 – аккумуляция прирусловых отмелей и осередков, 4 – зарастание прирусловых отмелей и осередков



Рисунок 6.5.2 – Размывы берегов в г. Колпашево (А) и предупреждающий знак (Б)

Размыв участка в пределах г. Колпашево происходит с различной интенсивностью, как по годам, так и в пределах участка, что фиксируется сопоставлением картографического материала (топокарты, карты русла реки), данных ДЗЗ и инструментальных наблюдений. За XX в. интенсивность отступления Колпашевского яра снизилась от 15,6 м/год (1900-1948 гг.) до 4,4 м/год (1989-1999 гг.), а затем и 3,6-3,9 м/год (1979-2008/2009 гг.), что объясняется тем, что излучина имеет степень развитости $l/L=2,56$ и соотношение $r/b_p=4,33$, вследствие чего стрежень потока стал отклоняться от вогнутого берега к центральной части русла, что и привело к ослаблению размыва. В то же время сохранение размыва связано со сливом осветлённых вод с затопленной в половодье выклинивающейся правобережной поймы выше по течению. Согласно прогнозам, которые были даны в 2009-2010-х гг. [Чалов, Завадский и др., 2022], размыв берега у г. Колпашево будет продолжаться, и в ближайшие годы заметного снижения активности эрозионных процессов не произойдет. Горизонтальные деформации на рассматриваемом участке будут происходить со средней интенсивностью 4-5 м/год при максимуме до 15 м/год на активных направлениях, что было подтверждено новейшими исследованиями в 2021 г.

Исследованиями 2021 г. участка от н.п. Озерное до устья протоки Канеровской были определены изменения горизонтальных русловых деформаций за период с 2009 по 2020 гг (таблица 6.5.1, см. рисунок 6.5.1).

Таблица 6.5.1 – Темпы горизонтальных русловых деформаций на исследуемом участке

| № на рисунок 6.5.1 | Участок | Километраж по руслу (по с/х), км | 2009-2020 гг | | | С _{ср} , м/год (1979-2009 гг.) | Опасность |
|--------------------|---|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------|---|---------------|
| | | | С _{ср} , м/год | С _{ср.макс} , м/год | L _{фр} , м | | |
| 1 | Яр Верхний Колпашевский | 1237-1242 | 10,8 | 19,7 | 4180 | 6,3 | Потенциальная |
| 2 | Яр о-ва Косых | 1242,5-1246 | 11,0 | 19,9 | 3950 | 8,4 | Потенциальная |
| 3 | Яр о-ва между протоками Заостровная и Матианга | 1246-1248 | 5,5 | 8,8 | 2530 | 3,0 | Потенциальная |
| 4 | Колпашевский яр | 1248,5-1951,5 | 4,2 | 8,6 | 3640 | 3,6 | Реальная |
| 5 | Нижний Колпашевский яр | 1254,5-1957,5 | 4,2 | 6,7 | 4000 | 9,7 | Потенциальная |
| 6 | Оголовок острова на западе Колпашевской протоки | 1253 | 4,0 | 8,0 | 1700 | 6,6 | Потенциальная |

| | | | | | | | |
|----|--|---------------|-----|------|------|----------|---------------|
| 7 | Левый берег в Колпашевской протоке | - | 2,7 | 3,8 | 510 | 0,5-3,5 | Потенциальная |
| 8 | Правый берег в Колпашевской протоке | - | 1,7 | 2,5 | 720 | | Реальная |
| 9 | Левый берег в протоке между о. Иманий и безымянный (Собачья «дырка» или «лаз») | - | 1,6 | 1,8 | 90 | - | Потенциальная |
| 10 | Правый берег в протоке между о. Иманий и безымянный (Собачья «дырка» или «лаз») (оголовок о. Иманий) | - | 2,3 | 3,7 | 600 | 2,2 | Потенциальная |
| 11 | Левый берег в Канеровской протоке | 1,3-2,0 | 1,7 | 2,6 | 1440 | 2,3 | Потенциальная |
| 12 | Яр о-ва Иманий | 1259-1260,5 | 4,4 | 7,9 | 2100 | 8,2 | Потенциальная |
| 13 | Яр Езенгинский | 1260,7-1262,3 | 9,7 | 14,3 | 1820 | 10,3 | Потенциальная |
| 14 | Яр Нижний Езенгинский | 1263-1264,2 | 5,6 | 8,2 | 1590 | 6,5-12,5 | Потенциальная |
| 15 | Яр Верхний Саровский | 1265-1268,7 | 9,1 | 16,3 | 4270 | 13,3 | Потенциальная |
| 16 | Яр Саровский | (1269-1274) | 3,7 | 6,5 | 4530 | 6,2 | Потенциальная |
| 17 | Яр о-ва Канеровский | 1274-1276 | 2,4 | 4,1 | 2580 | 4,4 | Потенциальная |
| 18 | Яр Усть-Чаинский | 1276,2-1278,3 | 3,0 | 5,8 | 4630 | 4,7 | Потенциальная |
| 19 | Правый берег | 1281-1282,3 | 2,3 | 3,4 | 1740 | 4,0 | Потенциальная |
| 20 | Левый берег в спрямляющей Майковской протоке | - | 5,8 | 8,6 | 1080 | 3,2-6,8 | Потенциальная |
| 21 | Правый берег в спрямляющей Майковской протоке | - | 6,1 | 10,3 | 980 | 4,0 | Потенциальная |
| 22 | Оголовок острова на входе в спрямляющую Майковскую протоку | - | 6,3 | 9,6 | 1000 | 18,1 | Потенциальная |
| 23 | Правый берег острова на выходе из Канеровской протоки | - | 2,2 | 3,5 | 780 | | Потенциальная |

| | | | | | | | |
|----|--|-----|-----|-----|------|---------|---------------|
| 24 | Правый берег в нижнем крыле излучины в Канеровской протоке | - | 2,5 | 4,5 | 2300 | 0,7-3,0 | Потенциальная |
| 25 | Правый берег в вершине излучины в Канеровской протоке | - | 3,1 | 4,6 | 3920 | 3,0 | Потенциальная |
| 26 | Правый берег в вершине излучины в Канеровской протоке | - | 3,6 | 5,0 | 2130 | 8,0 | Потенциальная |
| 27 | Яр о-ва Иманий на выходе из протоки Налимки | - | 1,6 | 2,3 | 500 | 2,0 | Потенциальная |
| 28 | Яр о-ва Иманий ниже Тогурской Кети | - | 1,8 | 2,5 | 750 | - | Потенциальная |
| 29 | Правый берег на заходе в Тогурскую Кеть | - | 2,6 | 3,8 | 1130 | - | Потенциальная |
| 30 | Правый берег в Канеровской протоке | 5-6 | 2,8 | 5,0 | 1230 | - | Потенциальная |
| 31 | Яр о-ва Иманий при заходе в безымянную протоку | - | 2,4 | 3,6 | 270 | - | Потенциальная |
| 32 | Оголовок безымянного острова в протоке Налимка | - | 1,9 | 3,9 | 840 | - | Потенциальная |
| 33 | Левый берег на выходе из Канеровской протоки | - | 3,2 | 5,0 | 1290 | 3,8 | Потенциальная |

За период с 2009 по 2020 гг на участках были зафиксированы средние скорости размывов берегов от 1,6 до 11 м/год, среднемаксимальные – от 1,8 до 19,9 м/год. Всего размывается 65 км береговой линии или 36 % от общей ее длины, выше 10 м/год – размыв поймы на 4,5% общей протяженности берегов (доля Колпашевского яра – 4 %).

В последние 11 лет, если сравнивать с 1979-2009 гг, происходит снижение скоростей размыва берегов на одних участках русла и увеличение на других. Так, на Колпашевской излучине, которая представляет собой петлеобразную излучину, наблюдается до сих пор сильный размыв как в ее привершинной части, который постепенно снижается, так и на ее крыльях, где формируются вторичные изгибы русла, образующие новые излучины на ее крыльях (здесь размыв, наоборот, усиливается). На Верхнем Колпашевском яре (см. таблицу 6.5.1) в 1979-2009 гг были зафиксированы средние скорости размыва 6,3 м/год, которые выросли до 10,8 м/год (среднемаксимальная составила 19,7 м/год) в 2009-2020 гг

Та же тенденция наблюдается в верхнем крыле и в вершине Колпашевской излучины – 8,4 м/год и 3,0 м/год в 1979-2009 гг до 11,0 м/год (среднемаксимальная – 19,9 м/год) и 5,5 м/год (среднемаксимальная – 8,8 м/год) в период с 2009 по 2020 гг, соответственно. На Колпашевском яру (см. таблицу 6. 5. 1) темпы размыва берегов выросли с 3,6 м/год в 1979-2009 гг. до 4,2 м/год (среднемаксимальная – 8,6 м/год) за период 2009-2020 гг. Противоположная ситуация характерна для Нижнего Колпашевского яра (см. таблицу 6.5.1): скорости размыва снизились с 9,7 м/год в 1979-2009 гг до 4,2 м/год (среднемаксимальная – 6,7 м/год) в 2009-2020 гг.

Размыв оголовка острова на западе в протоку Колпашевскую – верхняя часть правого рукава Канеровского пойменно-руслового разветвления (Канеровская протока) несколько снизился (с 6,6 до 4 м/год). В самой протоке локально происходят размывы берегов со средней скоростью 1,7-2,7 м/год.

Средние скорости размыва берегов в Канеровской протоке также преимущественно снизились по сравнению с 1979-2009 гг. На западе в Канеровскую протоку (яр о. Иманий) произошло снижение темпов размыва с 2,3 до 1,7 м/год, на выходе из нее – с 3,8 м/год в 1979-2009 гг до 3,2 м/год (средний максимум был зафиксирован – 5 м/год) в последние 11 лет. Берег в привершинной части излучины ниже запада в Тогурскую Кеть размывается неравномерно: темпы берегов либо снизились в 2,5 раза (с 8 до 3,6 м/год), либо остались примерно те же (3,0 м/год в 1979-2009 гг и 3,1 м/год – 2009-2020 гг). Одновременно возникли два новых фронта размыва о-ва Иманий (№ 28 и 30 на рисунке 6.5.1) в Канеровской протоке со средней скоростью 1,8-2,8 м/год (среднемаксимальная – 2,5-5,0 м/год). Развитие спрямляющей Маяковской протоки на выходе из Канеровской протоки сопровождается высокими темпами размыва ее берегов, они увеличились за последние 11 лет (средние скорости размыва – 5,8-6,1 м/год, среднемаксимальные – 8,6-10,3 м/год в 2009-2020 гг против 3,2-6,8 и 4,0 м/год в 1979-2009 гг. В основном русле ниже запада в Маяковскую протоку возникли осередки и прирусловые отмели у противоположного левого берега, которые в настоящее время зарастают.

В левом рукаве пойменно-руслового разветвления (собственно р. Обь) также отмечается снижение темпов размыва пойменных яров: если в период с 1979 по 2009 гг средние скорости размыва фиксировались в диапазоне от 4,4-4,7 до 12,5-13,3 м/год, то за последнее десятилетие они составляют от 2,3-2,4 до 9,1-9,7 м/год. Так, например, яр Езенгинский размывался в 1979-2009 гг со скоростью 10,3 м/год, в 2009-2020 гг – 9,7 м/год. На некоторых участках средние скорости размыва берегов снизились в 2 и более раза: оголовки о. Иманий размывался в 1979 по 2009 гг со скоростью 8,2 м/год, после (2009-2020 гг) – 4,4 м/год. Яр Нижний Езенгинский отступал в 1979-2009 гг со средней скоростью 6,5-

12,5 м/год, в настоящее время – 5,6 (среднемаксимальная – 8,2) м/год. Одновременно отмечается увеличение протяженности фронта размыва (с 900 до 2580 м) противоположного безымянному острову берега на 1274-1274,5 км, связанный с увеличением площади данного острова.

По прогнозным оценкам [Чалов, Завадский и др., 2022], в т.ч. по данным гидродинамического моделирования, Колпашевская излучина будет развиваться в ближайшей перспективе, вызывая дальнейший интенсивный размыв вогнутого берега; при этом будет продолжаться разрушение города, поступление в русло огромного количества наносов, вызывая обмеление ниже по течению переката на заходе в правый судоходный рукав Канеровского разветвления.

Другой участок – излучина на широтном участке средней Оби, на вогнутом берегу которого стоит п. Высокий Мыс и расположен памятник природы – сосновый бор (рисунок 6.5.3).

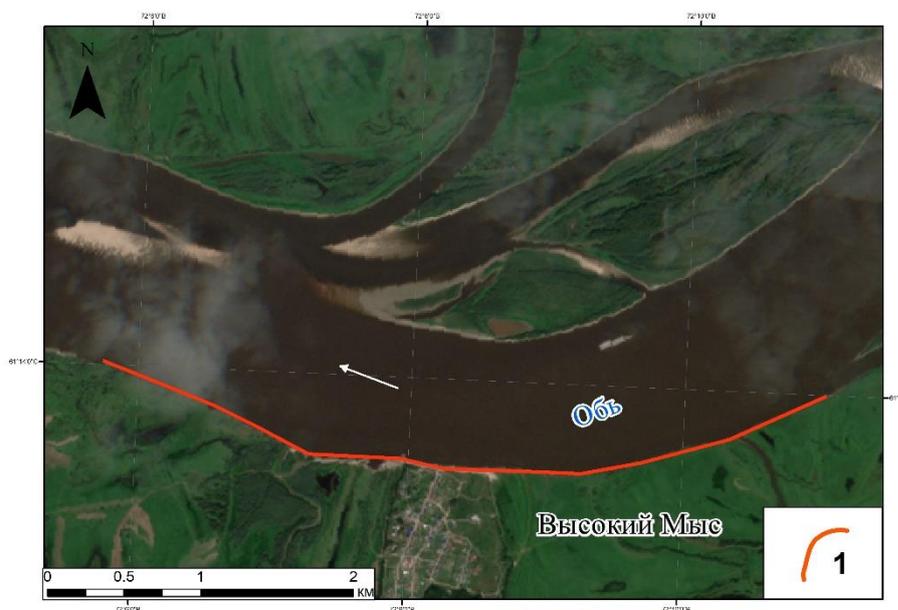


Рисунок 6.5.3 – Фронт размыва берегов (1) на излучине средней Оби у п. Высокий мыс (1398-1388 км)

Река Обь у п. Высокий Мыс образует пологую излучину, в вершине которой стрежень (динамическая ось) потока подходит к левому берегу, где возникает так называемое сбойное течение, вызывающее его размыв. Впервые угроза разрушения прилегающей к берегу части поселка возникла в 1970 г в связи с продольным смещением излучины; в 1980 г берег уже достаточно активно размывался, причем интенсивность этого процесса неуклонно возрастала. В настоящее время средняя скорость размыва берега у

поселка составляет 5-7 м/год, что создает реальную угрозу разрушения строений на берегу. По прогнозам дальнейшее смещение излучины приведет к смещению фронта размыва ниже поселка и снижению интенсивности размыва берега у самого п. Высокий Мыс, так как здесь он со временем окажется под определенной защитой смещающихся кос вдоль левого берега в верхнем крыле излучины. Возможно, что прекращение размыва берега естественным путем можно ожидать не раньше, чем через 50-70 лет.

На нижнем Иртыше повсеместно распространены петлеобразные излучины. Одна из таких – Укинская излучина, спрямившаяся в 2019 г (рисунок 6.5.4).

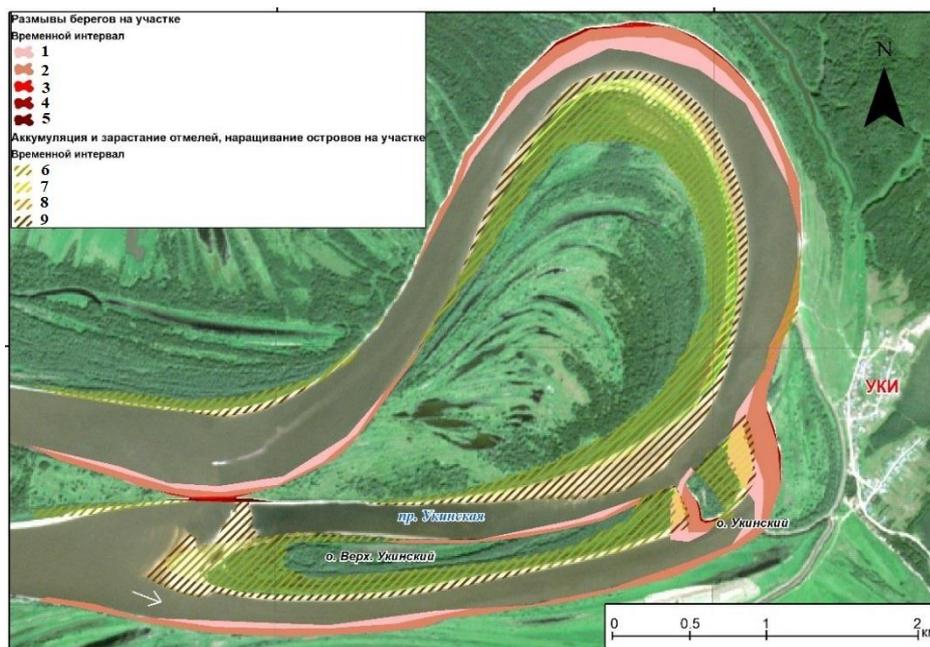


Рисунок 6.5.4 – Переформирования на Укинской излучине нижнего Иртыша (511,5-496 км): 1 – 1987-2001 гг, 2 – 2001-2017 гг, 3 – 2018-2018 гг, 4 – 2018-2019 гг, 5 – 2019-2020 гг, 6 – 1987-2001 гг, 7 – 2001-2017 гг, 8 – 2017-2018 гг, 9 – 2019-2020 гг

Временная динамика скоростей размыва берегов и протяженности фронтов размыва (их изменение в разные интервалы лет) на Укинской петлеобразной излучине представлена в таблица 6.5.2.

Таблица 6.5.2 – Изменение параметров размыва берегов в разные временные интервалы на Укинской излучине

| Год | Участок | $C_{ср}$, м/год | $C_{ср\max}$, м/год | $L_{фр}$, м | Опасность |
|-----------|--|------------------|----------------------|--------------|---------------|
| 1987-2001 | Правый берег в верхнем крыле, 509,5-507,5 | 2,2 | 3,6 | 2110 | Потенциальная |
| | Левый берег о. Верхнего Укинского (протока Укинская), 507,5-506,5 км | 1,4 | 3 | 1110 | Потенциальная |

| | | | | | |
|-----------|---|------|------|------|---------------|
| | оголовок о. Укинского, 506 км | 4,2 | 9,4 | 670 | Потенциальная |
| | Вогнутый правый берег, 506-505 км | 5,8 | 12,8 | 1170 | Потенциальная |
| | Вершина излучины (яр Укинский), 503,5-500,5 км | 4,4 | 9,4 | 3250 | Потенциальная |
| | Вогнутый левый берег, 499,5-497 км | 2,3 | 4,4 | 2630 | Потенциальная |
| 2001-2017 | Правый берег в верхнем крыле, 510- 504,5 | 3,4 | 12,5 | 6790 | Потенциальная |
| | Левый берег о. Верхнего Укинского (протока Укинская), 508-506,5 км | 1,4 | 3,8 | 1770 | Потенциальная |
| | оголовок о. Укинского, 506 км | 4 | 6,9 | 500 | Потенциальная |
| | Вершина излучины (яр Укинский), 504-499,5 км | 3,2 | 5,5 | 4320 | Потенциальная |
| | Вогнутый левый берег, 500-497 км | 1,8 | 3,4 | 3170 | Потенциальная |
| 2017-2018 | Вершина излучины (яр Укинский), 503-502,5 км | 8,8 | 18 | 430 | Потенциальная |
| | Вогнутый левый берег, 499-498 км | 7,5 | 12 | 690 | Потенциальная |
| 2018-2019 | оголовок о. Укинского, 506 км | 8,6 | 15,9 | 310 | Потенциальная |
| | Вогнутый правый берег, 505,5-505 км | 8,2 | 16,2 | 530 | Потенциальная |
| | Вершина излучины (яр Укинский), 503,5-501,5 км | 9,4 | 19,8 | 1590 | Потенциальная |
| | Образование прорана на 498,5 км | 22,9 | 29,5 | 230 | Потенциальная |
| 2019-2020 | Расширение прорана (слева) | 8,5 | 19,6 | 220 | Потенциальная |
| | Расширение прорана (справа) | 15,6 | 20,9 | 250 | Потенциальная |

До 2017 г происходил активный размыв берегов по всей длине Укинской излучины. В верхнем крыле излучины наблюдался размыв правого берега в правом рукаве находящегося здесь разветвления. Со временем размыв усиливался (средняя скорость – от 2,2 до 3,4 м/год, среднемаксимальная скорость – от 3,6 до 12,8 м/год), а протяженность фронта размыва выросла с 3280 до 6790 м. За 30 лет произошел сильный размыв оголовка Укинского острова (до 9,4 м/год), который в результате отступил на 300 м. При этом размыв о. Верх. Укинского со стороны левого маловодного рукава – протоки Укинской характеризовался постоянной скоростью – 1,4 м/год. В вершине излучины средние и максимальные скорости размыва берегов со временем снижались (с 4,4 до 3,2 м/год и 9,4 до 5,5 м/год, соответственно) как следствие ее искривления при одновременном увеличении длины фронта размыва на 1070 м. В нижнем крыле, образующем сегментную излучину, отступление берега происходило в ее привершинной части, темпы которого составляли 2,3

м/год (средний максимум – 4,4 м/год) в 1987-2001 гг., и 1,8 м/год (3,4 м/год) в 2001-2017 гг. Это в итоге привело к размыву перешейка между крыльями и спрямлению излучины.

В 2017-2018 гг наблюдаются высокие темпы размыва в вершине излучины на 503-502,5 км – до 18 м/год, и вогнутого левого берега в нижнем крыле на 499-498 км – до 12 м/год, где через год, в 2019 г, образовался проран, который в последующие годы расширялся вследствие направления в него основного расхода воды.

В последние годы сильные размывы оголовка о. Верх. Укинского и вогнутого правого берега продолжаются, в том числе размывы в вершине Укинской излучины.

За весь рассматриваемый период отмечается рост прибрежных отмелей, последующее их зарастание и увеличение площади о. Верх. Укинского, а также перекрытие захода в Укинскую протоку, что значительно снижает ее водность и создаёт условия для сокращения интенсивности размывов ее берегов.

Ожидается, что в ближайшей перспективе произойдет обмеление старого русла, особенно на Укинском перекате, находящемся непосредственно ниже прорана. Большая часть расхода воды будет проходить по прорану, обуславливая еще большее его расширение. Это приведет к неблагоприятной ситуации для судоходства из-за крутого, практически 180° поворота фарватера, что потребует проведение выправительных работ на данном участке. Помимо этого, ожидается кардинальная перестройка русла ниже по течению в связи с началом размыва правого берега, вдоль которого до спрямления наблюдалась аккумуляция.

На нижнем Иртыше наблюдается потенциальная угроза на, как минимум, шести петлеобразных излучинах из-за размыва вогнутых берегов (от 2,4 до 5,4 м/год) на их крыльях (вторичных излучин) и ширине перешейков 300-530 м, спрямление которых ожидается во временном интервале от 75 до 130 лет (рисунок 6.5.5). Это скажется только на условиях судоходства за исключением Пановской излучины, в вершине которой находится с. Паново, которое в перспективе окажется вдали от нового русла (рисунок 6.5.5 А).

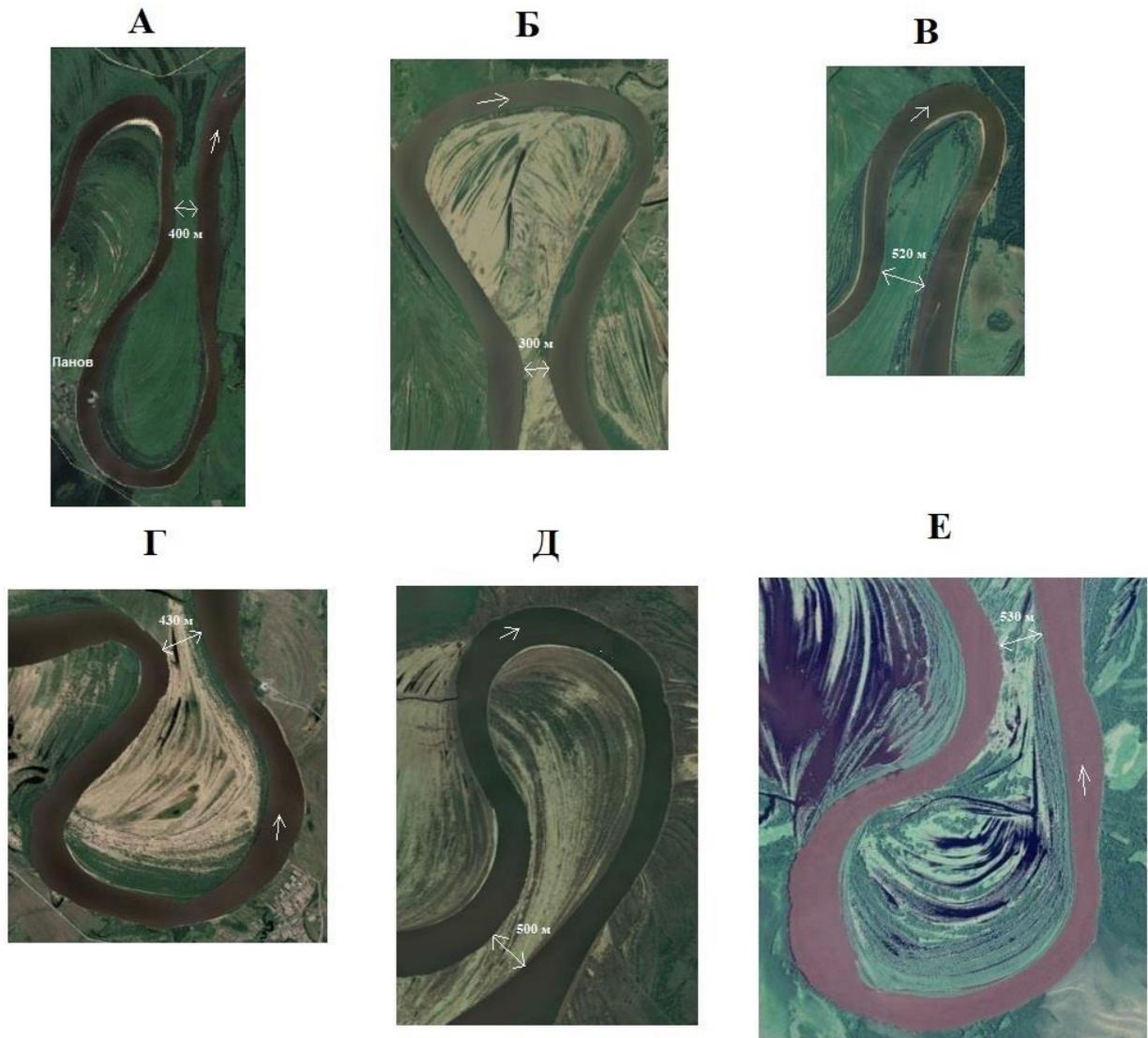


Рисунок 6.5.5 – Петлеобразные излучины нижнего Иртыша: А – Пановская (1004-995 км), Б – Загвоздинская (960-951 км), В – Тыкмыкская (937-933 км), Г – Епанчинская (717-711 км), Д – Староямская (553-542 км), Е – Торфяная (483-747 км)

На двух излучинах нижнего Иртыша возможно их спрямление в ближайшие десятилетия (рисунок 6.5.6).

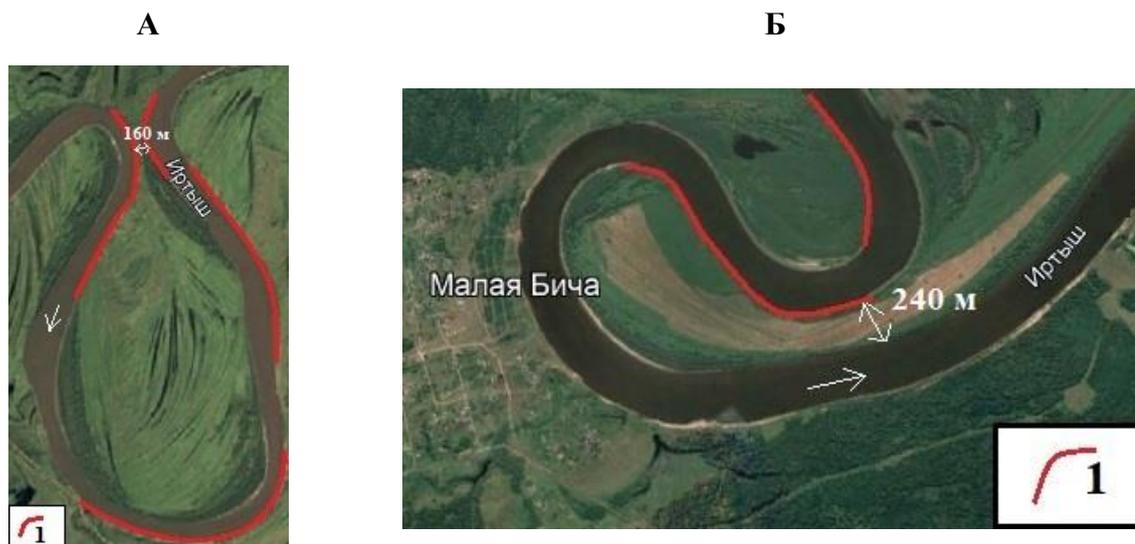


Рисунок 6.5.6 – Фронты размыва (1) на петлеобразных излучинах нижнего Иртыша: А – Бичинская (968-958 км), Б – Малая Бичинская (919-915 км)

В первом случае, на Бичинской петлеобразной излучине (рисунок 6.5.6 А) ширина перешейка между верхним и нижним крыльями 160 м. При встречном размыве левого берега 2,6 и 2,8 м/год (т.е. ежегодно с обеих сторон смывается 5,4 м) размыв перешейка совершится через 30 лет, если за это время не произойдет какое-либо экстремальное событие. На Малой Бичинской излучине (рисунок 6.5.6 Б), ширина перешейка которой 240 м, при размыве в ее верхнем крыле вогнутого берега со скоростью 5,4 м/год спрямление может произойти через 45 лет. Когда это произойдет, новое русло реки будет проходить вдали от населенного пункта, который лишится водного подхода к нему. На обеих излучинах естественное спрямление приведет к осложнению условий судоходства (на 5-10 лет), пока параметры русла и новый его изгиб не придут с новыми условиями движения потока.

Помимо этого, данные о характеристиках размываемых берегов, полученные для Оби, Иртыш и их притоков в пределах ХМАО-Югры, были использованы для создания интегральной оценки, характеризующей через баллы природно-антропогенную напряженность в пределах водоохранных зон ХМАО-Югры и необходимость в связи с этим мониторинга (рисунок 6.5.7) [Школьный, Завадский, 2021].

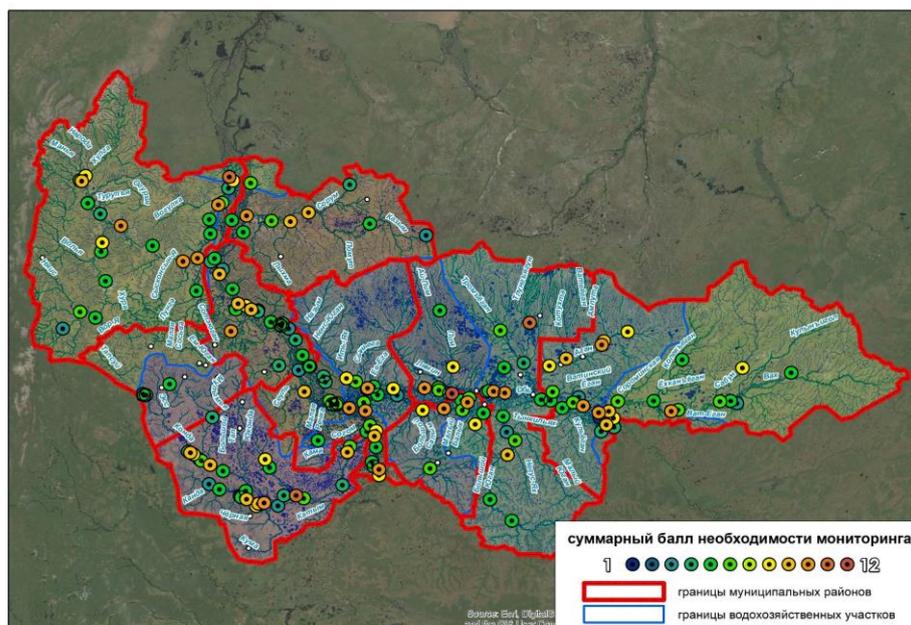


Рисунок 6.5.7 – Классификация населенных пунктов в пределах ХМАО-Югры по интегральному баллу [Школьный, Завадский, 2021]

Учитывая все особенности формирования и развития русел рек Обь-Иртышского бассейна и проявления на них опасных русловых процессов, в первую очередь, размывов берегов, были разработаны следующие рекомендации:

1. Создать для рек Обь-Иртышского бассейна систему мониторинга за размывами берегов, особенно на участках со сниженной устойчивостью русел Оби и Иртыша и повышенной опасностью русловых деформаций на их притоках, и там, где расположены объекты жилищной и хозяйственной инфраструктуры, переходы нефте- и газопроводов, мостовые переходы и другие важные объекты; помимо систематических съемок и промеров русла, мониторинг должен сопровождаться проведением руслового анализа и составлением прогнозов переформирования русла;
2. Проводить в местах, где размывы берегов влекут за собой утрату территорий населенных пунктов, разрушение инженерных объектов и сопутствующей им инфраструктуры, берегозащитные мероприятия и выправительные сооружения (дамбы) на основе проектов регулирования русла, базирующихся на управлении русловыми процессами;
3. Учитывать при планировании мероприятий по освоению рек и приречных территорий и их экономическому развитию результаты исследований русловых процессов и их опасных проявлений – размывов берегов.

Заключение

1. Реки Обь-Иртышского бассейна характеризуются формированием русел в свободных, относительно однородных условиях, в которых размывы берегов являются повсеместно распространенным явлением, характеризующаясь достаточно большими темпами; протяженность и положение фронтов размыва отражают характер смещения форм русла (излучин, рукавов), скорости размывов – интенсивность горизонтальных русловых деформаций. Размывы берегов не только создают опасность для освоения приречных территорий и водных ресурсов, но и выступают источником поступления наносов в русло, которые аккумулируясь ниже по течению, затрудняют судоходство, вызывая обмеление перекатов.

2. Территория Обь-Иртышского бассейна в пределах лесной зоны на основе связи $Q_{ср}=f(N)$ разделяется на районы по природным условиям формирования русел рек (гидрологическим, климатическим, гидрогеологическим и другим). С ростом порядка рек (их размера и водоносности) интенсивность горизонтальных русловых деформаций увеличивается вниз по течению на средних и больших реках бассейна – притоках Оби и Иртыша. Изменения ширины днища долины (пойма+русло) и, следовательно, растекание потоков половодья по пойме, влияние коренных берегов, постоянное изменение параметров форм русла в ходе их развития и условий взаимодействия руслового и пойменного потоков оказывают влияние на изменение скорости размыва берегов по длине рек при относительно однородной литологии отложений, с которыми взаимодействует речной поток.

3. На средней и нижней Оби направленный тренд в изменении темпов размыва берегов вниз по течению отсутствует, несмотря на увеличение водоносности рек в 2–3 раза. Основную роль в этом играет рассредоточение стока по рукавам раздвоенного русла и пойменным протокам (ответвлениям), длительное и глубокое затопление поймы, что приводит к общему снижению мощности потока и расходов воды в основном русле, и, следовательно, интенсивности размывов берегов. На нижнем Иртыше, наоборот, наблюдается последовательный рост скоростей размыва берегов вниз по течению в соответствии с увеличением его водоносности и по мере снижения влияния коренных берегов на развитие излучин, что связано с отсутствием рассредоточения потока по рукавам и пойменным протокам.

4. Для средней и нижней Оби характерно большее разнообразие типов русла, чем на нижнем Иртыше и остальных реках бассейна, имеющих преимущественно меандрирующее (извилистое) русло. Интенсивность размыва берегов в различных типах русла больше на средней Оби, чем в ее нижнем течении, что обусловлено меньшей

рассредоточенностью стока и влиянием коренных берегов. Наиболее активные горизонтальные русловые деформации на средней и нижней Оби приурочены к пойменно-русловым разветвлениям с меандрирующими рукавами и вписанным излучинам.

5. Районирование территории по условиям размыва берегов показывает снижение темпов размыва берегов на средних и больших реках к северу и к Обь-Иртышскому междуречью. В этом же направлении снижается степень опасности горизонтальных русловых деформаций. Каждый из районов характеризуется своими гидролого-морфологическими зависимостями, коэффициенты которых изменяются с юга на север и с востока на запад, а также вглубь рассматриваемой территории. Это районирование совпадает с гидрогеологическим районированием бассейна (по В.А. Земцову) и районированием территории по $Q_{ср}=f(N)$.

6. Средняя и нижняя Обь и нижний Иртыш имеют преимущественно относительно устойчивые русла и, соответственно, умеренную опасность. На остальных реках бассейна опасность русловых процессов относительно невысокая (1–2 балла), увеличиваясь вниз по течению, но в низовьях крупных рек (Томь и Чулым) может повышаться до 3 баллов.

7. Гидролого-морфологический анализ показал, что характеристики размывов берегов ($S_{ср}$, м/год, $L_{фр}$, км) на реках бассейна зависят от параметров форм русла, которые определяют структуру скоростного поля потока и циркуляционные течения, оказывая влияние на темпы и длину фронта размыва. С ростом степени развитости форм русла скорости размыва берегов на реках возрастают, достигая максимальных значений в диапазоне $l/L=1,4\div 1,7$, после чего они снижаются. Наибольшая протяженность фронта размыва берегов наблюдается у более пологих излучин с большим шагом и радиусом кривизны.

8. Разработаны основные рекомендации по безопасному и эффективному водохозяйственному и воднотранспортному освоению территории Обь-Иртышского бассейна.

Список литературы

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). – Текст: электронный // СевКавНИИВХ: офиц. сайт. – 2014. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения 25.04.2022).
2. Алабян, А.М. Генетический анализ причин весеннего затопления долины Малой Северной Двины в районе г. Великого Устюга / Алабян А.М., Алексеевский Н.Л., Евсева Л.С., Жук В.А., Иванов В.В., Сурков В.В., Фролова Н.Л., Чалов Р.С., Чернов А.В. // Эрозионные и русловые процессы. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. – Вып. 14. – С. 104-130.
3. Алексеев, В.Р. Морфодинамические особенности наледных участков речных долин / Алексеев В.Р. // Гидрология и геоморфология речных систем. – Иркутск: СО РАН, 1997. – С. 207-208.
4. Алтунин, С.Т. Регулирование русел / Алтунин С.Т. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 352 с.
5. Бабич, Д.Б. Размывы речных берегов как негативные проявления русловых процессов (на примере Нижней Волги и ее дельты) / Бабич Д.Б., Иванов В.В., Коротаев В.Н. // Геориск. – 2016. – №. 3. – С. 34-45.
6. Баженова, О.И. Развитие излучин и современные геоморфологические процессы на Средней Оби / Баженова О.И. // Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока АН СССР. Тр. ин-та. – 1975. – Вып. 59. – С. 64-71.
7. Барышников, Н.Б. Динамика русловых потоков и русловые процессы / Барышников Н.Б., Попов И.В. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 456 с.
8. Барышников, Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм / Барышников Н.Б. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 426 с.
9. Безуглая-Анненкова, И.Н. Изучение гидрогеологических условий и обоснование мероприятий по берегоукреплению реки Туры в районе города Тюмени. Автореф. дис... канд. геогр. наук: 04.00.06 / Безуглая-Анненкова Инесса Николаевна. – Тюмень: ТГНУ, 2000. – 24 с.
1. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1985 год / Белов Н.В. – Тюмень: ТКГРЭ, 1986. – 111 с.
2. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1987 год / Белов Н.В. – Тюмень: ТКГРЭ, 1988. – 70 с.

3. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1988 год / Белов Н.В. – Тюмень: ТКГРЭ, 1989. – 101 с.
4. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1989 год / Белов Н.В. – Тюмень: ТКГРЭ, 1990. – 91 с.
5. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1991 год / Белов Н.В. – Тюмень: ТКГРЭ, 1992. – 195 с.
6. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1992 год / Белов Н.В. – Тюмень: ТКГРЭ, 1993. – 135 с.
7. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1994 год / Белов Н.В. – Тюмень: ТКГРЭ, 1995. – 138 с.
8. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1984 год / Белов Н.В., Данилин П.П. – Тюмень: ТКГРЭ, 1985. – 102 с.
9. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1981-1982 г / Белов Н.В., Салаева Т.А. – Тюмень: ТКГРЭ, 1982. – 62 с.
10. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1983 год / Белов Н.В., Степанова А.П. – Тюмень: ТКГРЭ, 1984. – 141 с.
11. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1986 год / Белов Н.В., Степанова А.П. – Тюмень: ТКГРЭ, 1987. – 102 с.
12. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1993 год / Белов Н.В., Степанова А.П. – Тюмень: ТКГРЭ, 1994. – 63 с.
13. Белов, Н.В. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов в районе городов Тюмени, Тобольска и Нижневартовска за 1982 г / Белов Н.В., Тиханов В.С. – Тюмень: ТКГРЭ, 1983. – 102 с.
10. Беркович, К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов / Беркович К.М. – М.: ГЕОС, 2001. – 164 с.

11. Беркович, К.М. Дноуглубительные работы и русловые карьеры-воднотранспортный и гидроэкологический аспекты / Беркович К.М., Ботвинков В.М., Гладков Г.Л., Рулева С.Н. // Эрозионные и русловые процессы. – М.: Географ. ф-т МГУ, 2010. – Вып. 5. – С. 101-116.
12. Беркович, К.М. Ледовый и русловой режим нижнего течения реки Томи / Беркович К.М., Вершинин Д.А., Земцов В.А., Рулева С.Н., Сурков В.В., Фролова Н.Л. // Эрозионные и русловые процессы. – М.: Географ. ф-т МГУ, 2015. – Вып. 6. – С. 183-198.
13. Беркович, К.М. Обь // Реки и озера мира. Энциклопедия / Беркович К.М. – М.: Энциклопедия, 2012. – С. 479-498.
14. Беркович, К.М. Опасные проявления русловых процессов (на примере рек России) / Беркович К.М., Кирик О.М., Лодина Р.В., Чалов Р.С., Чернов А.В. // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1996. – № 3. – С. 35-41.
15. Беркович, К.М. Размыв речных берегов: факторы, механизм, деятельность человека / Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А. // Геоморфология. – 2019. – №. 2. – С. 3-17.
16. Беркович, К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ / Беркович К.М. – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2012. – 163 с.
17. Беркович, К.М. Формирование русла Оби в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС / Беркович К.М., Векслер А.Б., Виноградова Н.Н., Лысенко В.В., Маккавеев Н.И., Рулева С.Н., Чалов Р.С. // Труды ЗапСибНИИГоскомгидромета. – 1981. – №. 52. – С. 3-20.
18. Беркович, К.М. Экологическое русловедение / Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. – М.: ГЕОС, 2000. – 332 с.
19. Беркович, К.М. Оценка влияния русловых процессов на геоэкологическую ситуацию в речных долинах / Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1998. – № 2. – С. 59-67.
20. Боровков, С.В. Инженерное регулирование русла реки Иртыш в районе г. Ханты-Мансийска / Боровков С.В. // Вест. Гос. ун-та морского и речного флота им. адм. С.О Макарова. – 2010. – №. 2 (6). – С. 167-171.
21. Буренина, Т.А. Деформации берегов р. Оби в пределах Томской области / Буренина Т.А., Земцов А.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1978. – Вып. 11. – С. 111-120.
22. Великанов, М.А. Русловой процесс / Великанов М.А. – М. Госфизматиздат, 1958. – 395 с.

23. Великанова, З.М. Лабораторные исследования речной излучины / Великанова З.М. // Труды ГГИ. – 1968. – Вып. 147. – С. 40-51.
24. Вендров, С.Л. К вопросу о влагообороте и водном режиме Западно-Сибирской равнины / Вендров С.Л., Глух И.С., Малик Л.К. // Изв. АН СССР. Серия геогр. – 1967. – № 1. – С. 41-53.
25. Вершинин, Д.А. Проблемы русловых процессов рек Западной Сибири и результаты исследования в этой области / Вершинин Д.А., Земцов В.А., Инишев Н.Г., Тарасов А.С., Домрачев Е.А. // Тридцать третье пленар. межвуз. совещ. по пробл. эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Нижневартовск, 2018. – С 30-38.
26. Вешкурцева, Т.М. Влияние хозяйственной деятельности на русловые процессы реки Ишим / Вешкурцева Т.М. // Вест. Тюмен. гос. ун-та. – 2013. – № 4. – С. 143-153.
27. Водные пути бассейна Лены. – М.: МИКИС, 1995. – 600 с.
28. Водный режим рек России и сопредельных территорий. М-б 1:8000000 (карта) / Н. И. Алексеевский, М. И. Дальков, В. М. Евстигнев и др. / гл.ред. В.М. Евстигнеев – Роскартография Новосибирск, 2001. – 2 с.
29. Воскресенский, С.С. Геоморфология СССР / Воскресенский С.С. – М.: Высшая школа, 1968. – 368 с.
30. Герасимова, А.С. Характеристика современных геологических процессов, развитых в долинах нижнего течения рек Оби и Иртыша / Герасимова А.С. // Вест. Моск. ун-та. Сер. Биология, почвоведение, геология, география. – 1959. – № 2. – С. 103-111.
31. Голубцов, Г.Б. Острова верхней Оби: морфометрическая характеристика, эволюция и динамика / Голубцов Г.Б., Чалов Р.С. // Геоморфология. – 2019. – №. 1. – С. 80-90.
32. Горбацкий, Г.В. К вопросу об эрозионной деятельности полярных рек / Горбацкий Г.В. // Землеведение – 1935 – Т. 37 – №. 3 – С. 10-15.
33. Городков, Б.Н. Западно-Сибирская экспедиция Российской Академии наук и Русского географического общества (Предварительное сообщение) / Городков Б.Н. // Природа. – 1924. – С. 3-32.
34. Гринберг, З.А. О морфометрических характеристиках рек / Гринберг З.А. // Метеорология и гидрология. – 1950. – № 4. – С. 43-45.
35. Гришанин, К.В. Теория руслового процесса / Гришанин К.В. – М.: Транспорт, 1972. – 216 с.
36. Гусев, М.Н. Морфодинамика днища долины верхнего Амура / Гусев М.Н. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 220 с.

37. Дварецкас, В.В. Строеие и развитие речных долин краевой зоны последнего скандинавского оледенения (на примере южной Прибалтики): Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 52 с.
38. Дегтярев, В.В. Улучшение судоходных условий сибирских рек / Дегтярев В.В. – М.: Транспорт, 1987. – 176 с.
39. Диденко, Н.А. Флювиальные процессы верховья реки Лямин в Сургутском районе ХМАО-Югры / Диденко Н.А., Диденко И.Н. // Бюлл. науки и практики. – 2017. – №. 8 (21). – С. 147-149.
40. Евсеева, Н.С. Геоморфология бассейна р. Тым / Евсеева Н.С., Земцов А.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1999. – Вып. 23. – С. 52-64.
41. Евсеева, Н.С. Деформации берегов Кети и связанные с ними процессы / Евсеева Н.С., Земцов А.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1978. – Вып. 11. – С. 121-129.
42. Евсеева, Н.С. Процессы рельефообразования в бассейне р. Тым / Евсеева Н.С. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1999. – Вып. 23. – С. 64-75.
43. Евсеева, Н.С. Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины / Евсеева Н.С., Земцов А. А. – Томск: Изд-во ТГУ, 1990. – 240 с.
44. Ермакова, А.С. Гидролого-морфологические характеристики и многолетние переформирования меандрирующего русла р. Кети / Ермакова А.С. // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – С. 77-82.
45. Завадский, А.С. Гидролого-морфологический анализ свободного меандрирования русел равнинных рек. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27 / Завадский Александр Сергеевич. – М.: МГУ, 2001. – 31 с.
46. Завадский, А.С. Морфодинамика русел и баланс наносов рек бассейна Селенги (Монголия–Россия) / Завадский А.С., Чалов С.Р., Чернов А.В., Головлев П.П., Морейдо В.М., Белякова П.А. // Эрозия почв и русловых процессов. – М.: Географ. ф-т МГУ, 2019. – Вып. 21. – С. 149-170.
47. Завадский, А.С. Оценка горизонтальных деформаций на реках Обь-Иртышского бассейна / Завадский А.С., **Куракова А.А.**, Головлев П.П. // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях: Мат-лы V Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. – М.: ЛЕНАНД, 2020. – С. 203-205.
48. Завадский, А.С. Региональный анализ свободного меандрирования / Завадский А.С., Чалов Р.С. // Вестник Московского университета. Серия 5: География – 1997. – № 3. – С. 32-36.

49. Завадский, А.С. Эволюция Колпашевской излучины Оби и развитие опасных проявлений русловых процессов / Завадский А.С., Ильясов А.К., Рулёва С.Н., Сурков В.В., Турыкин Л.А., Чалов Р.С. // География и природные ресурсы. – 2013. – №. 1. – С. 56-64.
50. Западная Сибирь. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 488 с.
51. Земцов, А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части) / Земцов А.А. – Томск.: Изд-во ТГУ, 1976. – 344 с.
52. Земцов, А.А. Деформации берегов в среднем течении Оби за 20 лет (1965-1985 гг.) / Земцов А.А. // География и природные ресурсы. – 1990. – №4. – С. 46-51.
53. Земцов, А.А. Заломы, условия их развития и аспекты изучения / Земцов А.А., Евсеева Н.С. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1987. – Вып. 17. – С. 87-97.
54. Земцов, А.А. Материалы к геоморфологии бассейна реки Парабели / Земцов А.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск.: Изд-во ТГУ, 1953. – Вып. 33. – С. 117-128.
55. Земцов, А.А. О связи рельефа Васюганья с тектоническими структурами / Земцов А.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск.: Изд-во ТГУ, 1978. – Вып. 36. – С. 14-20.
56. Земцов, А.А. Перемещения русла р. Оби и их прогноз / Земцов А.А., Бураков Д.А. // Природа и экономика севера Томской области. – Томск: Изд-во ТГУ, 1977. – С. 8-25.
57. Земцов, А.А. Проблемы географии Западной Сибири / Земцов А.А., Хромых В.С. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1999. – Вып. 23. – С. 5-10.
58. Земцов, А.А. Рельеф и плейстоценовые отложения бассейна р. Кети / Земцов А.А., Евсеева Н.С. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1983. – Вып. 44. – С. 64-90.
59. Земцов, А.А. О деформациях русел Оби и её притоков / Земцов А.А., Бураков Д.А. // Тр. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. – Томск.: Изд-во ТГУ, 1966. – Вып. 13. – С. 31-34.
60. Земцов, В.А. Влияние физико-географических условий на естественную зарегулированность стока рек Западно-Сибирской равнины / Земцов В.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1979. – Вып. 29. – С. 46-58.
61. Земцов, В.А. Исследования в области динамики потоков, стока наносов и русловых деформаций на сибирских реках методом компьютерного моделирования / Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г. // Тридцатое пленар. юбилейное межвуз. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Набережные Челны, 2015. – С. 59-72.

62. Знаменская, Н.С. Гидравлическое моделирование русловых процессов / Знаменская Н.С. – СПб: Гидрометеиздат, 1992. – 240 с.
63. Знаменская, Н.С. Донные наносы и русловые процессы / Знаменская Н.С. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 192 с.
64. Иванов, А.В. Дебри / Иванов А.В., Зайцева Ю.Ю. – М.: Изд-во АСТ, 2017. – 448 с.
65. Илларионов, А.Г. Русловые процессы на территории плейстоценовых перигляциальных равнин Предуралья и Зауралья (на примере бассейнов рек Кама и Тобол) / Илларионов А.Г. // Двадцать седьмое пленар. межвуз. координац. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Ижевск, 2012. – С. 121-124.
66. Камалова, Е.В. Географические закономерности процессов разрушения берегов на малых и средних реках бассейнов Волги и верхнего Дона. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – М.: МГУ, 1988. – 22 с.
67. Камышев, А.А. Рассредоточение стока воды в разветвлениях русла средней Оби / Камышев А.А., Рулёва С.Н., Чалов Р.С. // Географический вестник. – 2017. – № 3(42). – С. 48-53.
68. Карасев, И.Ф. Русловые процессы при переброске стока / Карасев И.Ф. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 288 с.
69. Караушев, А.В. Речная гидравлика / Караушев А.В. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 416 с.
70. Киселев, Д.В. Деформации русла в среднем течении р. Оби / Киселев Д.В., Вершинин Д.А. // Вест. Томск. гос. ун-та. – 2010. – № 337. – С. 185-188.
71. Комлев, А.М. Опыт определения интенсивности плановых деформаций русла р. Тром-Юган по возрасту древесной растительности на намывных берегах / Комлев А.М., Блукке П.П. // Вопросы гидрометеорологии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1965. – Вып. 3. – С. 55-67.
72. Кондратьев, Н.Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса / Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Сنيщенко Б.Ф. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 272 с.
73. Кондратьев, Н.Е. Русловые процессы рек и деформации берегов водохранилищ / Кондратьев Н.Е. – СПб: Знак, 2000. – 258 с.
74. Коржуев, С.С. О естественной эрозии в зоне многолетней мерзлоты / Коржуев С.С. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1964. – № 3. – С. 48-52.
75. Коркин, С.Е. Многолетний мониторинг русловых деформаций реки Обь на примере ключевого участка «Усть-Вахский» / Коркин С.Е., Исыпов В.А. // Эволюция

эрозионно-русловых систем, её хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учёт. – Уфа: Аэтерна, 2017. – С. 156–158.

76. Коркин, С.Е. Русловые деформации в нижнем течении реки Вах / Коркин С.Е., Исыпов В.А. // Тридцать третье пленар. межвуз. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Нижневартовск, 2018. – С 4-10.

77. Коркин, С.Е. Связь морфологии излучин реки Вах с русловыми деформациями / Коркин С.Е., Исыпов В.А. // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях: Мат-лы V Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. – М.: Изд-во ЛЕНАНД. – 2020. – С. 259-260.

78. Кошелева, Е.Д. Анализ изменения водности рек Обь-Иртышского бассейна в условиях изменения климата / Кошелева Е.Д., Зиновьев А.Т. // Изв. Алт. отд. РГО. – 2017. – №. 3 (46). – С. 80-86.

79. Краснов, А.Н. Формы поверхности суши и деятельности, их создающие / Краснов А.Н. // Основы землеведения. – Харьков, 1897. – Вып. III. – 235 с.

80. Крутовский, А.О. Деформации берегов Оби у города Колпашево за последние 100 лет / Крутовский А.О., Лыготин В.А., Земцов В.А., Егоров Б.А. // География и природные ресурсы. – 2001. – №3. – С. 66-69.

81. Крутовский, А.О. Исследования русловых процессов Среднего Приобья / Крутовский А.О., Лыготин В.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 2001а. – Вып. 24. – С. 469-478.

82. Крутовский, А.О. Природные факторы развития береговой эрозии на реках Томской области / Крутовский А.О., Лыготин В.А. // Вест. Томск. гос. ун-та. – 2001б. – №. 274. – С. 108-113.

83. Крутовский, А.О. Русловой процесс р. Чулым у с. Зырянское / Крутовский А.О. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 2001. – Вып. 24. – С. 115-123.

84. Крутовский, А.О. Способы повышения эффективности геоэкологического мониторинга при исследовании деформаций берегов рек у населенных пунктов (на примере крупных рек Томской области). Автореф. дисс... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Крутовский Алексей Олегович. – Томск: ТГУ, 2002. – 22 с.

85. **Куракова, А.А.** Районирование Обь-Иртышского бассейна по условиям размыва берегов рек / **Куракова А.А.** // Изв. РАН. Серия географ. (в печати).

86. **Куракова, А.А.** Морфология русла и размывы берегов Нижней Оби (в пределах ХМАО-Югры) / **Куракова А.А.**, Чалов Р.С. // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2020. – №. 6. – С. 41-50.

87. **Куракова, А.А.** Морфодинамика русла нижнего Иртыша / **Куракова А.А.**, Чалов Р.С. // Геоморфология. – 2022. – Т. 53, № 4. – С. 99-109.
88. **Куракова, А.А.** Размывы берегов на широтном участке средней Оби и их связь с морфологией русла / **Куракова А.А.**, Чалов Р.С. // Географический вестник. – 2019. – № 3(50). – С. 34–47.
89. **Куракова, А.А.** Размывы пойменных берегов Оби и Иртыша и их связь с морфологией русла / **Куракова А.А.** // Географический вестник. – 2022. – № 1(60). – С. 40-59.
90. Лелявский, Н.С. О речных течениях и формировании речного русла / Лелявский Н.С. // Тр. 2-го съезда инженеров-гидротехников в 1893 г. – СПб., 1893 (Вопросы гидротехники свободных рек. – М.: Речиздат, 1948. – С. 18-136).
91. Литвинова, О.Г. Из истории инженерных изысканий по Обь-Енисейскому каналу / Литвинова О.Г. // Региональные архитектурно-художественные школы. – 2013. – № 1. – С. 287-291.
92. Лопатин, Г.В. Наносы рек СССР / Лопатин Г.В. – М.: Географгиз, 1952. – 368 с.
93. Лохтин, В.М. О механизме речного русла / Лохтин В.М. – СПб.: Типограф. Мин-ва путей сообщения, 1897. – 77 с. (Вопросы гидротехники свободных рек. М.: Речиздат, 1948. С. 23–59).
94. Львович, М.И. Опыт классификации рек СССР / Львович М.И. // Труды ГГИ. – 1938. – Вып. 6. – С. 58–108.
95. Льготин, В.А. Новые данные о деформациях русла р. Оби / Льготин В.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1984. – Вып. 37. – С. 115-120.
96. Льготин, В.А. Русловые процессы на реках Томского Приобья / Льготин В.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1987. – Вып. 42. – С. 117-120.
97. Льготин, В.А. Склоновые процессы в Томском Приобье / Льготин В.А. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1989. – Вып. 45. – С. 42-52.
98. Льготина, Л.П. Из истории изучения природы территории Томской области (дореволюционный период) / Льготина Л.П. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – Вып. 48. – С. 78-83.
99. Льготина, Л.П. Из истории изучения рек Среднего Приобья / Льготина Л.П. // Человек и вода. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1990. – С. 33-35.
100. Магрицкий, Д.В. Водные ресурсы и режим рек Арктической зоны Сибири: современное состояние, прогнозируемое изменение, масштабы и структура хозяйственного использования / Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л., Евстигнеев В.М., Михайлов В.Н., Киреева

М.Б., Пахомова О.М., Повалишникова Е.С. // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. – Барнаул: СО РАН, 2017. – С. 121-131.

101. Маккавеев, Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Маккавеев Н.И. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 347 с.

102. Маккавеев, Н.И. Русловые процессы / Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 264 с.

103. Маккавеев, Н.И. Современные эоловые процессы в долине верхней Оби / Маккавеев Н.И., Сахарова Е.И., Чалов Р.С. // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1966. – № 2. – С. 49-53.

104. Маккавеев, Н.И. Сток и русловые процессы / Маккавеев Н.И. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 116 с.

105. Махинов, А.Н. Размывы берегов на среднем Амуре / Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. // Геоморфология. – 2001. – № 2. – С. 72-81.

106. Медведев, С.С. Натурные исследования русловых деформаций на реке Оби и мероприятия по предотвращению опасных размывов / Медведев С.С., Щербаков А.О., Наумова Т.В., Асосков Г.Н., Катышев М.С. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 5. – С. 45-47.

107. Михайлов, Н.И. Природа Сибири (географические проблемы) / Михайлов Н.И. – М.: Мысль, 1976. – 158 с.

108. Михайлова, Н.М. Режим деформаций перекаатов и его влияние на условия судоходства р. Северной Двины. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27 / Михайлова Надежда Михайловна. – М.: МГУ, 2014. – 26 с.

109. Мухин, М.Ю. Влияние русловых аномалий на плановые деформации и судоходные условия рек Обь-Иртышского бассейна. Автореф. дис... канд. техн. наук.: 05.22.17 / Мухин Михаил Юрьевич. – Новосибирск: НГАВТ, 2004. – 17 с.

110. Назаров, Н.Н. Реки Пермского края: горизонтальные русловые деформации / Назаров Н.Н., Егоркина С.С. – Пермь: Звезда, 2004. – 156 с.

111. Носаль, А.П. Изучение изменений в русле реки Тура в среднем течении / Носаль А.П., Туленина Ю.В. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2008. – № 2. – С. 35-54.

112. Ободовський, О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / Ободовський О.Г. – Київ: Ніка- Центр, 2001. – 276 с.

113. Петров, И.Б. Обь-Иртышская пойма (типизация и качественная оценка земель) / Петров И.Б. – Новосибирск: Наука, 1979. – 136 с.

114. Пилипенко, Т.В. Расчетное обоснование спрямления излучин рек (на примере Обь-Иртышского бассейна). Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.17 / Пилипенко Татьяна Викторовна. – Новосибирск: НГАВТ, 2004. – 17 с.
115. Пиньковский, С.И. Типы речных русел Кавказа и Средней Азии / Пиньковский С.И. // Труды ГГИ. – 1966. – Вып. 136. – С. 231-269.
116. Пиньковский, С.И. Типы речных русел Средней и Южной Сибири / Пиньковский С.И. // Труды ГГИ. – 1961. – Вып. 94. – С. 87-114.
117. Попов, И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство / Попов И.В. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 328 с.
118. Попов, И.В. Применение морфологического анализа к оценке общих русловых деформаций р. Оби / Попов И.В. // Труды ГГИ. – 1962. – Вып. 94. – С. 22-86.
119. Попов, И.В. Русловые переформирования Волги на участке Волгоград – Астрахань / Попов И.В. // Труды ГГИ. – 1963. – Вып. 108. – С. 4-67.
120. Проектирование судовых ходов на свободных реках / Труды ЦНИИЭВТ. – М.: Транспорт, 1964. – Вып. 36. – 262 с.
121. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства. ПНИИИС Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1987. – 200 с.
122. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Приуралье. – Л.: Гидрометеиздат, 1973а. – 849 с.
123. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. – Л.: Гидрометеиздат, 1973б. – 426 с.
124. Ржаницын, Н.А. Руслоформирующие процессы рек / Ржаницын Н.А. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 264 с.
125. Родевич, В.М. К вопросу классификации рек / Родевич В.М. // Изв. ГГИ, 1932 – № 35. – С. 44-47.
126. Россинский, К.И. Закономерности формирования речных русел / Россинский К.И., Кузьмин И.А. // Русловые процессы. – М.: Изд-во АН ССР, 1958. – С. 5-14.
127. Россинский, К.И. Некоторые вопросы прикладной теории формирования речных русел / Россинский К.И., Кузьмин И.А. // Проблемы регулирования речного стока. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – С. 88-129.
128. Рубцов, М.В. Влияние леса на деформацию берегов таежных рек / Рубцов М.В., Дерюгин А.А. // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – С. 264-265.

129. Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР). – М.: Географ. ф-т МГУ Москва, 1994. – 336 с.
130. Русловой режим средней Оби. – М.: Деп. ВИНТИ № 1250-69, 1969. – 146 с.
131. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной. – М.: Журнал РТ, 2012. – 492 с.
132. Рысин, И.И. Русловые процессы на реках Удмуртии / Рысин И.И., Петухова Л.Н. – Ижевск: Научная книга, 2006. – 176 с.
133. Савичев, О.Г. Оценка русловых деформаций в бассейнах рек Васюган и Парабель (Западная Сибирь) / Савичев О.Г. // Изв. Томск. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 83-87.
134. Садовский, Г.Л. Пособие по трассированию землечерпательных прорезей / Садовский, Г.Л. – М.: Речной транспорт, 1961. – 183 с.
135. Середовских, Б.А. Исследование и картографирование русловых деформаций реки Конды / Середовских Б.А., Неволин Н.А. // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы. – 2019. – С. 84-88.
136. Сидорчук, А.Ю. Позднеледниковые палеоруслу рек Западной Сибири / Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2008. – №. 2. – С. 67-75.
137. Смирнова, В.Г. Гидролого-морфологический анализ разветвленных русел рек Алтайского региона: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.27 / Смирнова Вера Геннадьевна. – Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. – 20 с.
138. Соколовский, Д.Л. Речной сток / Соколовский Д.Л. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 540 с.
139. Сурков, В.В. Русловые процессы на р. Чулыме, режим перекатов и рекомендации по оптимизации сроков навигации и улучшению условий судоходства / Сурков В.В., Крыленко И.В., Чалова А.С., Головлёв П.П., Рулёва С.Н. // Тридцать третье пленар. межвуз. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Нижневартовск, 2018. – С. 16-29.
140. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Иртыш. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. [Электронный ресурс]. – 2014а. –Режим доступа: <http://nobwu.ru/index.php/ndvskiovo> (дата обращения 04.07.2022).
141. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Обь. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. [Электронный ресурс]. – 2014б. – Режим доступа: <http://nobwu.ru/index.php/ndvskiovo> (дата обращения 04.07.2022).

142. Талмаза, Н.Ф. Гидроморфометрические характеристики горных рек / Талмаза Н.Ф., Крошкин А.Н. – Фрунзе: Кыргызстан, 1968. – 204 с.
143. Ткачев, Б.П. Гидродинамические процессы устьевой области реки Иртыш / Ткачев Б.П. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2015. – № 4. – С. 44-52.
144. Топографические карты Генштаба, ГосГисЦентра: справ.-информ. портал. – URL: <https://satmaps.info/> (Дата обращения 11.05.2022)
145. Трепетцов, Е.В. Деформации берегов р. Оби в Тюменской области / Трепетцов Е.В. // Эрозия почв и русловые процессы. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. – Вып. 3. – С. 276-284.
146. Трофимов, В.Т. Оползни нижнего Приобья и Прииртышья / Трофимов В.Т. // Вопросы географии Сибири. – Томск: Изд-во ТГУ, 1971. – Вып. 1. – С. 202-208.
147. Цянь Нин. Русловой процесс / Цянь Нин, Чжан Жэнь, Чжоу Цзыдэ – Пекин: Наука, 1987. – 584 с. (на китайском языке).
148. Чалов, Р.С. Географические исследования русловых процессов / Чалов Р.С. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 232 с.
149. Чалов, Р.С. Гидролого-морфологическая характеристика и переформирования разветвленного русла нижней Оби (в пределах Ямало-Ненецкого АО) / Чалов Р.С., Завадский А.С., Камышев А.А., **Куракова А.А.**, Михайлова Н.М., Рулева С.Н. // Изв. РАН. Серия географ. – 2021. – Т. 85. – № 4. – С. 539-553.
150. Чалов, Р.С. Изменения русел рек и опасные проявления русловых процессов на урбанизированных территориях / Чалов Р.С., Рулева С.Н. // География и природные ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 17-23.
151. Чалов, Р.С. Колпашевские перекаты в Канеровском разветвлении р. Обь: деформации, прогнозные оценки и регулирование русла / Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В., Крыленко И.Н., Михайлова Н.М., Павлушкин С.В., **Куракова А.А.**, Голубцов Г.Б., Семаков В.А. // Речной транспорт (XXI век). – 2022. – № 2. – С. 38-43.
152. Чалов, Р.С. Морфодинамика и гидролого-морфологическая характеристика русла средней Оби на широтном участке / Чалов Р.С., Камышев А.А., Завадский А.С., **Куракова А.А.** // География и природные ресурсы. – 2021. – № 2. – С. 92-102.
153. Чалов, Р.С. Морфодинамика равнинных рек / Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В. – М.: ГЕОС, 1998. – 288 с.
154. Чалов, Р.С. Морфодинамические типы русла и развитие излучин реки Оби (в пределах Томской области) / Чалов Р.С., Завадский А.С., Камышев А.А., Михайлова Н.М., Рулёва С.Н. // География и природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 81-91.

155. Чалов, Р.С. Общее и географическое русловедение / Чалов Р.С. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 112 с.
156. Чалов, Р.С. Особенности рассредоточения стока воды и взвешенных наносов в половодье в раздвоенном русле нижней Оби (в пределах ХМАО-Югры) / Чалов Р.С., Камышев А.А., **Куракова А.А.**, Завадский А.С. // Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48. – № 1. – С. 22-33.
157. Чалов, Р.С. Оценка морфодинамической сложности русла большой реки при планировании водохозяйственных мероприятий (на примере Оби) / Чалов Р.С., Рулёва С.Н., Михайлова Н.М. // География и природные ресурсы. – 2016. – № 1. – С. 29-37.
158. Чалов, Р.С. Раздвоенные русла больших и крупнейших рек: условия формирования, рассредоточение стока и морфодинамика рукавов / Чалов Р.С., **Куракова А.А.**, Камышев А.А., Михайлова Н.М. // Геоморфология. – 2022. – № 2. – С. 72-88.
159. Чалов, Р.С. Районирование территории России по экологическому состоянию русел и пойм / Чалов Р.С., Чернов А.В. // Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – С. 66-72.
160. Чалов, Р.С. Речные излуины / Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 371 с.
161. Чалов, Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. / Чалов Р.С. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 608 с.
162. Чалов, Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел / Чалов Р.С. – М.: КРАСАНД, 2011. – 960 с.
163. Чалов, Р.С. Русловые процессы (русловедение) / Чалов Р.С. – М.: ИНФРА-М, 2017а. – 569 с.
164. Чалов, Р.С. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна / Чалов Р.С., Плескевич Е.М., Баула В.А. – Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. – 300 с.
165. Чалов, Р.С. Русловые процессы на р. Оби в районе г. Колпашево, размыв города, компьютерное моделирование потока и обоснование оптимального варианта защитных мероприятий / Чалов Р.С., Сурков В.В., Рулёва С.Н., Беликов В.В., Завадский А.С., Бондарев В.П., Ильясов А.К. // Эрозия почв и русловые процессы. – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2012. – Вып. 18. – С. 205-243.
166. Чалов, Р.С. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая / Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 216 с.
167. Чалов, Р.С. Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел / Чалов Р.С. // Геоморфология. – 1996. – № 1. – С. 25-36.

168. Чалов, Р.С. География опасных проявлений русловых процессов на реках России / Чалов Р.С., Чернов А.В., Беркович К.М., Михайлова Н.М. // Изв. РГО. – 2017. – Т. 149. – № 4. – С. 13-32.
169. Чалов, Р.С. Структурные уровни и морфодинамическая классификация русловых разветвлений / Чалов Р.С., Чалов С.Р. // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47. – № 3. – С. 259-271.
170. Чалов, Р.С. Параметризация русловых процессов для прогнозных оценок и диагностики опасных проявлений / Чалов Р.С. // Водные ресурсы. – 2017б. – Т. 44. – № 5. – С. 551-562.
171. Чалов, Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 3. Антропогенные воздействия, опасные проявления и управление русловыми процессами / Чалов Р.С. – М.: КРАСАНД, 2019. – 640 с.
172. Чалов, Р.С. Толковый терминологический и понятийный словарь-справочник по русловедению / Чалов Р.С. – М.: Типография Ваш формат, 2022. – 142 с.
173. Чалов, С.Р. Речные заломы: экологическая и руслоформирующая роль / Чалов С.Р., Ермакова А.С., Есин Е.В. // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5: География. – 2010. – № 6. – С. 25–31.
174. Чернов, А.В. География и геоэкология русел и пойм рек Северной Евразии / Чернов А.В. – М.: Крона, 2010. – 684 с.
175. Школьный, Д.И. Мониторинг берегов рек в рамках государственного мониторинга водных объектов: современное состояние и перспективы развития / Школьный Д.И., Завадский А.С. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 2. – С. 22–39.
176. Щукин, И.С. Общая геоморфология. Т. 1. / Щукин И.С. – М.: Изд-во МГУ, 1960. – 616 с.
177. Щукин, И.С. Общая морфология суши. Т. 1. / Щукин И.С. – Новосибирск: ОНТИ, 1933. – 366 с.
178. Эберхардс, Г.Я. Основные типы и сезонные переформирования берегов малых и средних свободно меандрирующих рек Средней Прибалтики / Эберхардс Г.Я. // Геоморфология. – 1986. – №3. – С. 85-90.
179. Экспериментальная геоморфология. Вып. 2. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – 173 с.
180. Эрозионно-русловые системы. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 702 с.
181. Янышев, Л.И. Описание рек Туры и Тобола как водных путей сообщения, связывающих систему р. Оби с Екатеринбургско-Тюменской ж. д., по исследованиям 1884-1885 годов / Янышев Л.И. // Инженер – 1885. – Т. 3. – 32 с.

182. Bagnold, R.A. Some aspects of the shape of river meanders / Bagnold R.A. // US. Geol. Surv. Prof. Pap. 282-E. Braun D.D. 1960. doi.org/10.3133/pp282E
183. Braun, D.D. Lithologic control of bedrock meander dimensions in the Arralachian. Valley and Ridge province / Braun D.D. // Earth Surf. Proc. – 1983. – V. 8. doi.org/10.1002/esp.3290100611
184. Brotherton, D.L. On the origin and characteristics of river channel / Brotherton D.L. // J. Hydrol. – 1979. – V. 44. – № 3-4. – P. 211-230. doi.org/10.1016/0022-1694(79)90132-X
185. Callander, R.A. River meandering / Callander R.A. // Ann. Rev. Fluid Mech. – 1978. – V. 10. doi.org/10.1146/annurev.fl.10.010178.001021
186. Constantine, C.R. Examining the physical meaning of the bank erosion coefficient used in meander migration modeling / Constantine C.R., Dunne T., Hanson G.J. // Geomorphology. – 2009. – № 106. – P. 242-252. doi:10.1016/j.geomorph.2008.11.002
187. EarthExplorer: сайт. – URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 13.03.2022).
188. Engelund, F. On the origin of meandering and braiding in alluvial streams / Engelund F., Skovgaard O. // J. Fluid. Mech. – 1973. – V. 57. – № 2. – P. 289-302 doi.org/10.1017/S0022112073001163
189. Ferguson, R.T. Channel pattern and sediment type / Ferguson R.T. // Area – 1973. – V. 5. – № 1.
190. Fredsoe, I. Meandering and braiding of rivers / Fredsoe I. // J. Fluid. Mech. – 1978. – V. 84. – № 4. – P. 609-624. doi.org/10.1017/S0022112078000373
191. Gilbert, G.K. Report on the Geology of the Henry Mountains / Gilbert G.K. // US Geol. And Geogr. Surv. Prof. – 1877. – 160 pp. doi.org/10.3133/70039916
192. Gilbert, G.K. The transportation of debris by running water / Gilbert G.K. // US Geol. Surv. Prof. Pap. 86. – 1914. – 263 pp. doi.org/10.3133/pp86
193. Ikeda, S. Bend theory of river meanders. Part 1. Linear development / Ikeda S., Parker G., Sawai K. // J. Fluid Mech. – 1981. – № 112. – P. 363-377. doi.org/10.1017/S0022112081000451
194. Leopold, L.V. River channel patterns – braided, meandering and straight / Leopold L.V., Wolman M.G. // US Geol. Surv. Prof. Pap. 282-B. – 1957. – P. 1-85. doi.org/10.3133/pp282B
195. Levin, J. Channel pattern changes / Levin J. // River channel changes. – 1977.
196. Melton, F.A. An empirical classification of flood-plain streams / Melton F.A. // Geographical Review. – 1936. – V. 26. – № 4. – P. 593-609. doi.org/10.2307/209717

197. Nanson, D.C. Regional trend to meander migration / Nanson D.C. // *J. Deology*. – 1980. – № 1. – P. 100-108.
198. National Engineering Handbook Rosgen Stream Classification Technique— Supplemental Materials Technical Supplement 3E (210–VI–NEH, August 2007). Part 654. – 2007. – 24 pp.
199. Richards, K.S. Rivers: Form and process in alluvial channels / Richards K.S. // Methuen. London. – 1982. – 360 pp.
200. Rosgen, D.L. A classification of natural rivers / Rosgen D.L. // *Catena*. – 1994. – 22. – P. 169-199. doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9
201. Rust, B. R. Sedimentation in arid-zone anastomosing fluvial system: Cooper creek. Central Australia / Rust B. R. // *J. Petrol.* – 1981. – V. 51. – № 3. – P. 745-755.
202. Rutherford, I. Some human impacts on Australian stream channel morphology / Rutherford I. // *River Management: The Australasian Experience*. – Chichester, John Wiley & Sons, 2000. – P. 2-52.
203. Schumm, S.A. Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications / Schumm S.A. // *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.* – 1981. – № 31. – P. 19-29. doi:10.2110/PEC.81.31.0019
204. Schumm, S.A. Experimental study of channel patterns / Schumm S.A., Khan H.R. // *Geol. Soc. Am. Bull.* – 1972. – V. 83. – № 6. – P. 1755-1770.
205. Schumm, S.A. Patterns of alluvial rivers / Schumm S.A. // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* – 1985. – № 13. – P. 5-27.
206. Schumm, S.A. The fluvial system / Schumm S.A. – 1977. – 338 p.
207. The Global Runoff Data Centre: сайт – URL: <https://www.bafg.de/> (дата обращения 26.04 2022).

Приложение 1

Перечень космических снимков на исследуемые участки рек Обь-Иртышского бассейна

| Дата снимка | Спутник | Источник | Тип данных | Максимальное пространственное разрешение, м |
|--------------------|----------------|-----------------|---------------------------|--|
| CORONA | | | | |
| 18.08.1968 | CORONA KH-4A | USGS | Монохромный снимок | 2,7 |
| 19.08.1968 | CORONA KH-4A | USGS | Монохромный снимок | 2,7 |
| 27.09.1969 | CORONA KH-4A | USGS | Монохромный снимок | 2,7 |
| 02.06.1970 | CORONA KH-4B | USGS | Монохромный снимок | 1,8 |
| 09.05.1974 | CORONA KH-9 | USGS | Монохромный снимок | 6 |
| Landsat | | | | |
| 17.08.1973 | Landsat 1 MSS | USGS | Мультиспектральный снимок | 60 |
| 20.08.1976 | Landsat 2 MSS | USGS | Мультиспектральный снимок | 60 |
| 22.08.1976 | Landsat 2 MSS | USGS | Мультиспектральный снимок | 60 |
| 25.09.1976 | Landsat 2 MSS | USGS | Мультиспектральный снимок | 60 |
| 05.08.1989 | Landsat 4 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 10.08.1989 | Landsat 4 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 03.08.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 15.08.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 24.08.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 05.09.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 06.09.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 12.09.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 16.09.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 18.09.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 27.09.1985 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 01.08.1987 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 02.08.1987 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 03.08.1987 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |

| | | | | |
|-----------------|--------------------|------|---------------------------|----|
| 19.08.1987 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 21.08.1987 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 22.08.1987 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 26.08.1987 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 28.07.1988 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 02.08.1988 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 05.08.1988 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 10.08.1988 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 30.08.1988 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 28.08.1989 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 07.09.1989 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 17.09.2001 | Landsat 7 ETM+ | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| 09.09.2006 | Landsat 5 TM | USGS | Мультиспектральный снимок | 30 |
| 22.08.2016 | Landsat 8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| 07.08.2019 | Landsat 8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| 18.08.2019 | Landsat 8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| 27.08.2019 | Landsat 8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| 17.09.2019 | Landsat 8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| 19.10.2019 | Landsat 8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| 28.10.2019 | Landsat 8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| 10.07.2020 | Landsat 8 OLI/TIRS | USGS | Мультиспектральный снимок | 15 |
| Sentinel | | | | |
| 22.08.2016 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 22.08.2017 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 17.05.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 07.06.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 09.06.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 21.08.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |

| | | | | |
|------------|------------|------|---------------------------|----|
| 22.08.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 28.08.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 01.09.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 03.09.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 05.09.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 24.09.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 25.09.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 26.09.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 12.10.2018 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 01.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 02.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 12.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 13.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 14.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 15.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 16.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 19.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 21.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 22.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 24.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 26.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 29.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 30.08.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 06.09.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 07.09.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 13.09.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 16.09.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 16.09.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |

| | | | | |
|------------|------------|------|---------------------------|----|
| 17.09.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 27.09.2019 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 06.08.2020 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 25.09.2020 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 20.08.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 22.08.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 24.08.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 25.08.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 26.08.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 05.09.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 06.09.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 25.09.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 27.09.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |
| 30.09.2021 | Sentinel-2 | USGS | Мультиспектральный снимок | 10 |

Приложение 2

Морфодинамические типы русла средней и нижней Оби, рукавов ее раздвоенного русла первого и второго порядка

| № п/п | Километраж по судовому ходу | Тип русла | Название |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---|
| СРЕДНЯЯ ОБЬ | | | |
| от устья Томи до устья Ваха* | | | |
| 1 | 986-1012 | Одиночные разветвления | Албазинское |
| 2 | 1012-1018 | Прорванная излучина | Красноярская |
| 3 | 1018-1040 | Свободные излучины | Мысовская, Никольская |
| 4 | 1040-1049 | Относительно прямолинейное русло | Заречное |
| 5 | 1049-1084 | Пойменно–русловое разветвление | Кривошеинское |
| 6 | 1084-1091 | Относительно прямолинейное русло | Сергеевское-Жуковское |
| 7 | 1091-1156 | Свободные излучины | Амбарцевская, Былинская, Молчановская, Игрековская, Канангинская, Могочинская |
| 8 | 1156-1169 | Одиночное разветвление | Сарафановское |
| 9 | 1169-1184 | Сопряженное разветвление | Михайловско-Коломинское |
| 10 | 1184-1195 | Пойменно–русловое разветвление | б/н |
| 11 | 1195-1212 | Относительно прямолинейное русло | Ниж. Чалковское, Тайзаковское, Сунгуровское |
| 12 | 1212-1228 | Прорванные излучины | Тискинская, Баранакская |
| 13 | 1228-1248 | Свободные излучины | Пундогинская, Озёрнинская, Верхняя Колпашевская |
| 14 | 1248-1260 | Вписанная излучина | Колпашевская |
| 15 | 1260-1266 | Прорванные излучина | Нижняя Колпашевская |
| 16 | 1266-1288 | Пойменно–русловое разветвление | Канеровское |
| 17 | 1288-1298 | Прорванная излучина | Тягловская |
| 18 | 1298-1306 | Вписанная излучина | Березовская (Петропавловская) |
| 19 | 1306-1318 | Прорванная излучина | Иванкинская |
| 20 | 1318-1344 | Свободные излучины | Кияровская, Тебенакская, Инкинская, Нижн. Зайкинская |
| 21 | 1344-1364 | Пойменно–русловое разветвление | Басмановское |
| 22 | 1364-1369 | Относительно прямолинейное русло | б/н |
| 23 | 1369-1378 | Прорванная излучина | Мумышевская |
| 24 | 1378-1401 | Пойменно–русловое разветвление | Кольжда |
| 25 | 1401-1447 | Свободные излучины | Парбинская, Парабельская, Ширяевская, Каленакская |
| 26 | 1447-1457 | Пойменно–русловое разветвление | Нарымское |
| 27 | 1457-1472 | Свободные излучины | Безымьянная, Каранакская |
| 28 | 1472-1489 | Одностороннее разветвление | Пыжинское, Сахарное |

| | | | |
|----|-----------|-----------------------------------|--|
| 29 | 1489-1493 | Относительно прямолинейное русло | б/н |
| 30 | 1493-1502 | Пойменно–русловое разветвление | Мизуркинское |
| 31 | 1501-1512 | Относительно прямолинейное русло | Верх. Каргасокское, Каргасокское |
| 32 | 1512-1518 | Вписанная излучина | Каргасокская |
| 33 | 1518-1527 | Прорванная излучина | Кашинская |
| 34 | 1527-1545 | Свободные излучины | Усть-Васюганская, Усть-Старицынская, Киндальская |
| 35 | 1545-1554 | Прорванная излучина | Курейная |
| 36 | 1554-1576 | Свободные излучины | Казальцевская Томторговская, Чилинская |
| 37 | 1576-1587 | Относительно прямолинейное русло | Чилинское, Верх. Тымское |
| 38 | 1587-1612 | Пойменно–русловое разветвление | Тымское |
| 39 | 1612-1618 | Относительно прямолинейное русло | Аджагинское, Нижний Никулинское |
| 40 | 1618-1626 | Свободные излучины | Усть-Тымская |
| 41 | 1626-1635 | Пойменно–русловое разветвление | Колгуякское |
| 42 | 1635-1644 | Относительно прямолинейное русло | Нижний Колгуякское, прв. Прорытовское |
| 43 | 1644-1651 | Вынужденная излучина | Вертикосская |
| 44 | 1651-1673 | Свободные излучины | б/н |
| 45 | 1673-1678 | Вписанная излучина | Прохоркинская |
| 46 | 1678-1704 | Одиночные разветвления | Лымжинское, Овечье |
| 47 | 1704-1721 | Одностороннее разветвление | Верхнепырчинское, Новоникольское (Нижнепырсинское) |
| 48 | 1721-1740 | Относительно прямолинейное русло | Киевское, Ниж. Панинское, Кулымское |
| 49 | 1740-1749 | Свободные излучины | Кулымская |
| 50 | 1749-1758 | Вписанная излучина | Верхневартовская |
| 51 | 1758-1764 | Относительно прямолинейное русло | б/н |
| 52 | 1764-1772 | Свободные излучины | Верхненазинская |
| 53 | 1772-1782 | Вписанная излучина | Нижненазинская |
| 54 | 1782-1802 | Относительно прямолинейное русло | Мал. Ерганское, Бол. Ерганское |
| 55 | 1802-1814 | Пойменно–русловое разветвление | Акасомское |
| 56 | 1814-1823 | Относительно прямолинейное русло | Усть-Соконварское |
| 57 | 1823-1832 | Одиночное разветвление | Лукашинское |
| 58 | 1832-1839 | Относительно прямолинейное русло | Тайгородское, Вачпугольское |
| 59 | 1839-1858 | Свободные излучины | б/н |
| 60 | 1858-1867 | Параллельно-рукавное разветвление | Александровское |
| 61 | 1867-1878 | Свободные излучины | б/н |
| 62 | 1878-1886 | Относительно прямолинейное русло | Ларинское, Верх. Киселёвское |
| 63 | 1886-1894 | Свободные излучины | Киселёвская |

| | | | |
|--|-------------|--|-------------------------------------|
| 64 | 1894-1898 | Относительно прямолинейное русло | Киселёвское |
| 65 | 1898-1909 | Пойменно-русловое разветвление | Колтогорское |
| 66 | 1909-1923 | Свободные излуины | Светлокулымская |
| 67 | 1923-1938 | Пойменно-русловое разветвление | Светлогорское (Соснинское) |
| 68 | 1938-1952 | Относительно прямолинейное русло | Верх. Соснинское, Верх. Васькинское |
| 69 | 1952-1964 | Свободные излуины | Верхнебылинская, Кабинская |
| от устья Ваха до устья Иртыша** | | | |
| 70 | 1715 - 1693 | Пойменно-русловое разветвление (правый рукав – сегментная макроизлучина; левый рукав – сегментные излуины) | Нижневартовское |
| 71 | 1693 - 1678 | Свободные излуины | б/н |
| 72 | 1678 - 1660 | Сложное трехрукавное пойменно-русловое разветвление с меандрирующими рукавами и прорванными излуинами | Кирьяское-Конное |
| 73 | 1660 - 1647 | Свободные излуины | б/н |
| 74 | 1647 - 1640 | Прорванная излуина | б/н |
| 75 | 1640 - 1630 | Свободная излуина | б/н |
| 76 | 1630 - 1610 | Сопряженное разветвление | Комунаровско-Покурское |
| 77 | 1610 - 1587 | Свободные излуины | б/н |
| 78 | 1587 - 1578 | Одиное разветвление | Лобановское |
| 79 | 1578 - 1572 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 80 | 1572 - 1564 | Одиное разветвление | Тармуготовское |
| 81 | 1564 - 1558 | Свободная излуина | б/н |
| 82 | 1558 - 1550 | Одиное разветвление | Пеньковское |
| 83 | 1550 - 1533 | Сложное трехрукавное пойменно-русловое разветвление с меандрирующими рукавами и прорванными излуинами | Быстринское |
| 84 | 1533 - 1517 | Свободные излуины | б/н |
| 85 | 1517 - 1499 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 86 | 1499 - 1484 | Пойменно-русловое разветвление (левый рукав – прямолинейное русло и сегментные излуины; правый рукав – пологие сегментные излуины) | Санинское |
| 87 | 1484 - 1479 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 88 | 1479 - 1448 | Сопряженные разветвления | Сургутские |
| 89 | 1448 - 1424 | Свободные излуины | б/н |
| 90 | 1424 - 1418 | Одиное разветвление | Шитовское |
| 91 | 1418 - 1412 | Свободные излуины | б/н |
| 92 | 1412 - 1405 | Одиное разветвление | Камаевское |
| 93 | 1405 - 1380 | Свободные излуины | б/н |
| 94 | 1380 - 1365 | Сопряженные разветвления | Пимское -Ляминское |
| 95 | 1365 - 1355 | Свободные излуины | б/н |

| | | | |
|---|-------------|--|-------------------------|
| 96 | 1355 - 1348 | Прорванная излучина | Усть-Юганская |
| 97 | 1348 - 1322 | Сложное трехрукавное пойменно-русловое разветвление с меандрирующими рукавами и прорванными излучинами | Сатоминское -Салманское |
| 98 | 1322 - 1318 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 99 | 1318 - 1313 | Прорванная излучина | Сахалинская |
| 100 | 1313 - 1308 | Свободные излучины | б/н |
| 101 | 1308 - 1294 | Одинокое разветвление | Балинское |
| 102 | 1294 - 1228 | Свободные излучины | б/н |
| 103 | 1228 - 1210 | Пойменно-русловое разветвление (левый рукав – сегментные излучины; правый рукав – сегментные излучины) | Нялинско-Соспасовское |
| 104 | 1210 - 1202 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 105 | 1202 - 1177 | Свободные излучины | б/н |
| 106 | 1177 - 1162 | Относительно прямолинейное неразветвленное с прибрежными островами | б/н |
| левый рукав раздвоенного русла - Юганская Обь, 1514 – 1350 км | | | |
| 107 | 212-162 | Свободные излучины | б/н |
| 108 | 162-148 | Пойменно-русловое разветвление | б/н |
| 109 | 148-126 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 110 | 126-121 | Одинокое разветвление | б/н |
| 111 | 121-77 | Свободные излучины | б/н |
| 112 | 77-72 | Прорванная излучина | б/н |
| 113 | 72-52 | Свободные излучины | б/н |
| 114 | 52-44 | Пойменно-русловое разветвление | б/н |
| 115 | 44-0 | Свободные излучины | б/н |
| левый рукав раздвоенного русла - протока Большая Салымская, 1326 -1264 км | | | |
| 116 | 67-0 | Свободные излучины | б/н |
| левый рукав раздвоенного русла – протока Неулера–Тренькина, 1254 – устье р. Иртыша | | | |
| 117 | 80-68 | Свободные излучины | б/н |
| 118 | 68-60 | Пойменно-русловое разветвление | б/н |
| 119 | 60-32 | Свободные излучины | б/н |
| 120 | 32-28 | Прорванная излучина | Татаринская |
| 121 | 28-0 | Свободные излучины | б/н |
| НИЖНЯЯ ОБЬ | | | |
| от устья р. Иртыша до с. Перегребного | | | |
| 122 | 1162 - 1158 | Осередковое разветвление в относительно прямолинейном русле в узле слияния Иртыша с Обью | б/н |
| 123 | 1158 - 1153 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Белогорское |
| 124 | 1153 - 1144 | Одинокое разветвление | б/н |
| 125 | 1144 - 1127 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Богдашкинское |

| | | | |
|---|---------------|---|-----------------------|
| 126 | 1127 - 1120 | Одиночное разветвление | б/н |
| 127 | 1120 - 1110 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Елизаровское |
| 128 | 1110 - 1102 | Одиночное разветвление | б/н |
| 129 | 1102 - 1093 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Конинское |
| 130 | 1093 - 1086,5 | Одиночное разветвление | б/н |
| 131 | 1086,5 - 1083 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Сухоруковское |
| 132 | 1083 - 1065 | Одиночное разветвление | б/н |
| 133 | 1065 - 1060 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Фуринское |
| 134 | 1060 - 1049 | Одиночное разветвление | б/н |
| 135 | 1049 - 1043 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Чукреевское |
| 136 | 1043 - 1035 | Одиночное разветвление | б/н |
| 137 | 1035 - 992 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 138 | 992 - 985,5 | Одиночное разветвление | б/н |
| 139 | 985,5 - 972 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 140 | 972 - 957,5 | Одиночное разветвление | Половинное |
| 141 | 957,5 - 952 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 142 | 952 - 942 | Одиночное разветвление | Сотниковское |
| 143 | 942 - 934 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 144 | 934 - 928 | Одиночное разветвление | б/н |
| 145 | 928 - 923,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 146 | 923,5 - 911 | Одиночное разветвление | Монастырское |
| 147 | 911 - 890 | Параллельно-рукавное разветвление | б/н |
| 148 | 890 - 873 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 149 | 873 - 859 | Одиночное разветвление | Шеркальское |
| 150 | 859 - 849 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 151 | 849 - 840 | Одиночное разветвление | Халапантское |
| 152 | 840 - 830 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| от с. Перегребного до поперечной протоки Большой Нюрик | | | |
| <i>левый рукав раздвоенного русла – Малая Обь</i> | | | |
| 153 | 830 - 820 | Свободные излуины | б/н |
| 154 | 820 - 800 | Пойменно-русловое разветвление | Межьюрско-Нарькарское |
| 155 | 800 - 796 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 156 | 794 - 782 | Одиночное разветвление | Аренинское |
| 157 | 782 - 766 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 158 | 766 - 756,5 | Свободные излуины | б/н |
| 159 | 756,5 - 748 | Пойменно-русловое разветвление | Лапорско-Новинское |
| 160 | 748 - 684 | Свободные излуины | б/н |

| | | | |
|--|-------------|---|-------------------|
| 161 | 684 - 677 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 162 | 677 - 671 | Одинокое разветвление | Вайтеховское |
| 163 | 671- 666 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 164 | 666 - 655 | Одностороннее разветвление | б/н |
| 165 | 655 - 635 | Свободные излуины | б/н |
| <i>правый рукав раздвоенного русла – Горная Обь</i> | | | |
| 166 | 835 - 834 | Осерёдковое разветвление в относительно прямолинейном русле | Усть-Горновское |
| 167 | 834 - 830 | Одностороннее разветвление | Песчаное |
| 168 | 830 - 825 | Одинокое разветвление | Чемышевское |
| 169 | 825 - 821,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 170 | 821,5 - 815 | Одинокое разветвление | Тегинское |
| 171 | 815 - 808 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 172 | 808 - 801 | Одностороннее разветвление | Комудванское |
| 173 | 801 - 798 | Осерёдковое разветвление в относительно прямолинейном русле | |
| 174 | 798 - 792 | Одинокое разветвление | б/н |
| 175 | 792 - 789,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 176 | 789,5 - 782 | Одинокое разветвление | б/н |
| 177 | 782 - 775 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 178 | 775 – 762 | Прорванная излуина | Пугорская |
| 179 | 762 – 757 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 180 | 757 – 748 | Одинокое разветвление | Вунтьяс-Пугорское |
| 181 | 748 – 734 | Свободные излуины | б/н |
| 182 | 734 – 725 | Одинокое разветвление | Огныт-Пугорское |
| 183 | 725 – 708 | Прорванная излуина | Кулимвоготская |
| 184 | 708 – 698 | Свободная излуина | Полноватская |
| 185 | 698 – 689 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 186 | 689 - 686,5 | Прорванная излуина | Чуэльская |
| 187 | 686,5 - 645 | Свободные излуины | б/н |
| 188 | 645 - 634 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 189 | 634 – 617 | Свободные излуины | б/н |
| 190 | 617-607 | Одинокое разветвление | Сарты-Панское |
| 191 | 607-602 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| <i>поперечная протока Большой Нюрик</i> | | | |
| 192 | 24 - 20,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 193 | 20,5 - 15,5 | Свободные излуины | б/н |
| 194 | 15,5 - 0 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| <i>от поперечной протоки Большой Нюрик до г. Салехарда</i> | | | |
| <i>левый рукав раздвоенного русла – Малая Обь (продолжение)</i> | | | |
| 195 | 635-608 | Свободные излуины | Устремский |

| | | | |
|---|-------------|--|---|
| 196 | 608-589 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Холдинский |
| 197 | 589-580 | Свободные излуины | Маяхтасский |
| 198 | 580-565 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Пословский |
| 199 | 565-560 | Одностороннее разветвление | Халась-Пугор |
| 200 | 560-549 | Свободные излуины | Каневский |
| 201 | 549-533,5 | Пойменно-русловое разветвление | Азовское |
| 202 | 533,5-528 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Лексангортский |
| 203 | 528-517 | Свободные излуины | Нижний Лексангортский – Ишварский |
| 204 | 517-505 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Аксангортский |
| 205 | 505-493 | Свободные излуины | Сынский |
| 206 | 493-486,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Киеватское плесо |
| 207 | 486,5-484 | Вынужденная излуина | Старокиеватский |
| 208 | 484-474,5 | Свободные излуины | Илюшинский |
| 209 | 474,5-472,5 | Вынужденная излуина | Б/н |
| 210 | 472,5-470 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Б/н |
| 211 | 470-464 | Односторонние разветвления | Мужевский |
| 212 | 464-462,5 | Свободная излуина | Ханты-Мужевский 1-й |
| 213 | 462,5-459,5 | Вынужденная излуина | Ханты-Мужевский 2-й |
| 214 | 459,5-454 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Васяховское плесо |
| 215 | 454-451 | Одиночное разветвление | Разветвление на Верхней Васяховской излуине |
| 216 | 451-449 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 217 | 449-444 | Свободные излуины | Васяховский |
| 218 | 444-438 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Илюшинское плесо |
| 219 | 438-435 | Свободная излуина | Войкарновский |
| 220 | 435-431 | Одиночное разветвление | б/н |
| 221 | 431-428 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Длинное плесо |
| 222 | 428-422 | Свободные излуины | б/н |
| 223 | 422-417,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Спиридоново плесо |
| 224 | 417,5-406 | Свободные излуины | Истоминский – Огневский |
| 225 | 406-400,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Огневское плесо |
| 226 | 400,5-362 | Односторонние разветвления | Шурышкарский, Панзинский и Шиян-Пугорский |
| 227 | 362-350 | Дельтовые разветвление | Вандиасский |
| <i>правый рукав раздвоенного русла – Большая Обь</i> | | | |
| 228 | 602-585 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 229 | 585-578 | Одиночное разветвление | Сири-Пугор |
| 230 | 578-560 | Свободные излуины | Водоворотный |

| | | | |
|--|---------|---|---------------------------|
| 231 | 560-554 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Кызым-мыс |
| 232 | 554-536 | Одинокое разветвление | Оленский |
| 233 | 536-522 | Обтекающая излучина | Золотой мыс |
| 234 | 522-502 | Вписанная излучина | Лопхари |
| 235 | 502-488 | Односторонние разветвления | Кушеватский |
| 236 | 488-459 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Вусяковский |
| 237 | 459-445 | Односторонние разветвления | Лангивожский |
| 238 | 445-375 | Относительно прямолинейное неразветвленное | Каменистое плесо – Петляр |
| 239 | 375-358 | Односторонние разветвления | Максимский – Чепураский |
| 240 | 358-350 | Дельтовое разветвление (дельта выдвижения) | Осетровый |
| <i>от слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда</i> | | | |
| 241 | 350-345 | Продолжение дельтового разветвления Большой Оби (дельта выдвижения) | Ай-Пугор |
| 242 | 345-329 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 243 | 329-310 | Параллельно-рукавное разветвление | о-ва Птичий и Кишмель |
| 244 | 310-300 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 245 | 300-290 | Одностороннее разветвление | Усть-Полуйский |
| <i>правый рукав раздвоенного русла – Игорская Обь, 375 (по с.х. Большой Оби) – 318 км</i> | | | |
| 247 | 67-53 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 248 | 53-45 | Обтекающая | б/н |
| 249 | 45-42 | Вписанная | б/н |
| 250 | 42-13 | Свободные | б/н |
| 251 | 13-0 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| РУКАВА РАЗДВОЕННОГО РУСЛА СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ОБИ 2-го ПОРЯДКА | | | |
| <i>Сомутнельская протока, 689-648,5 км Горной Оби</i> | | | |
| 252 | 20-18 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| 253 | 18-16 | Прорванная излучина | б/н |
| 254 | 16-0 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |
| <i>Тоготская Обь, 764,5 – 684 км Малой Оби</i> | | | |
| 255 | 64-37 | Свободные излучины | б/н |
| 256 | 37-34 | Прорванная излучина | б/н |
| 257 | 34-6 | Свободные излучины | б/н |
| 258 | 6-0 | Одинокое разветвление | б/н |
| <i>Малая Горная Обь, 454 – 399 км Малой Оби</i> | | | |
| 259 | 55-36 | Свободные | б/н |
| 260 | 36-0 | Относительно прямолинейное неразветвленное | б/н |

*отсчет километража по судовому ходу на данном участке ведется от истока Оби

**отсчет километража по судовому ходу на данном участке и ниже ведется от устья Оби

Морфодинамические типы русла нижнего Иртыша (от устья р. Тары до слияния с р. Тоболом)

| № п/п | Участок | км от устья | Длина, км | Тип русла |
|--|---------------------------------|---------------|-----------|--|
| I. устье р. Тары – п. Атак, 1492-1459 км, излучины русла разных структурных уровней и морфологических типов | | | | |
| 1 | Усть-Тарский | 1491,5-1488,5 | 3 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 2 | 1-ая Нижняя Траская излучина | 1488,5-1486 | 2,5 | свободная излучина |
| 3 | 2-ая Нижняя Траская излучина | 1486-1483,5 | 2,5 | свободная излучина |
| 4 | Черняевская излучина | 1483,5-1478 | 5,5 | сундучная излучина |
| 5 | Верх. Киргапская излучина | 1478-1474 | 4 | свободная излучина с разветвлением в привершинной части |
| 6 | Киргапское разветвление | 1475-1477,4 | 2,4 | сложное одиночное разветвление в привершинной части излучины |
| 7 | Киргапская излучина | 1474-1472 | 2 | пологая излучина |
| 8 | Айткуловская излучина | 1472-1470 | 2 | вписанная излучина |
| 9 | излучина б/н | 1470-1468 | 2 | пологая излучина |
| 10 | Верхнее Атакское разветвление | 1468-1465 | 3 | одиночное разветвление |
| 11 | Верхняя Атакская излучина | 1465-1462,5 | 2,5 | свободная излучина |
| 12 | Нижняя Атакская излучина | 1462,5-1459 | 3,5 | вынужденная излучина |
| II. п. Атак – п. Таборы, 1459-1289, чередование прямолинейных участков и серий излучин, осложненных одиночными разветвлениями | | | | |
| 13 | Речаповский | 1459-1455 | 4,0 | прямолинейное русло с одиночным разветвлением |
| 14 | разветвление б/н | 1457,4-1455,3 | 2,1 | разветвление 2-го порядка в прямолинейном русле |
| 15 | Верхняя Екатерининская излучина | 1455-1452 | 3 | свободная излучина |
| 16 | Екатерининская излучина | 1452-1450 | 2 | вынужденная излучина |
| 17 | Сыщиковский | 1450-1438,5 | 11,5 | прямолинейное неразветвленное русло с прибрежным разветвлением (о. Зеленый) |
| 18 | Тарская излучина | 1438,5-1434 | 4,5 | сундучная излучина |
| 19 | Нерпинская излучина | 1434-1427 | 7 | вписанная пальцеобразная излучина с осередковым разветвлением в привершинной части |
| 20 | Верхняя Самсоновская излучина | 1427-1421 | 6 | сундучная излучина |

| | | | | |
|----|--|---------------|-----|---|
| 21 | поворот Самосновский | 1421-1418,5 | 2,5 | вынужденная излучина |
| 22 | Нижняя Самсоновский | 1418,5-1415 | 3,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 23 | Апталовская излучина | 1415-1410 | 5 | большая свободная излучина |
| 24 | Сеитовская излучина | 1410-1406 | 4 | большая свободная излучина |
| 25 | Сеитовский | 1406-1402,5 | 3,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 26 | Курмановский поворот | 1402,5-1400,5 | 2 | вынужденная излучина |
| 27 | Бутаковский | 1400,5-1393 | 7,5 | прямолинейное русло с осередковым разветвлениями |
| 28 | повороты Усть-Уйский и Пологрудовский | 1393-1388 | 5 | вписанная сундучная излучина |
| 29 | Пологрудовский-Бильзинский | 1388-1372 | 16 | прямолинейное неразветвленное с единственным односторонним разветвлением |
| 30 | Мамешевское разветвление | 1383-1379 | 3,5 | прибрежное разветвление |
| 31 | Монастырское-Знаменское разветвление | 1372-1364 | 8 | односторонние разветвлениями с разветвлением 2-го порядка и осередковыми разветвлениями в основном рукаве |
| 32 | Знаменская излучина | 1364-1362 | 2 | крутая свободная излучина |
| 33 | Качуковская излучина | 1362-1359,5 | 2,5 | пологая свободная излучина |
| 34 | Сартовская излучина | 1359,5-1356,5 | 3 | пологая свободная излучина |
| 35 | Сартовское разветвление | 1356,5-1354 | 2,5 | одионое разветвление |
| 36 | Черная излучина | 1354-1352 | 2 | свободная излучина |
| 37 | Верхняя Усть-Ошинский | 1352-1349 | 3 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 38 | повороты Усть-Ошинский и Усть-Тамацкий | 1349-1343 | 6 | сундучная адаптированная излучина |
| 39 | Усть-Тамацкое разветвление | 1343-1340 | 3 | одионое разветвление |
| 40 | Мурзинская излучина | 1340-1337 | 3 | сундучная вписанная излучина |
| 41 | Аргаисский | 1337-1328 | 9 | прямолинейное русло с односторонним и осередковыми разветвлениями |
| 42 | Верхняя Шуховская излучина | 1328-1327 | 1 | свободная излучина |
| 43 | Шуховская излучина | 1327-1324 | 3 | свободная излучина |
| 44 | поворот Семитский | 1324-1321 | 3 | пальцеобразная вписанная излучина |
| 45 | Нижняя Семитская излучина | 1321-1315 | 6 | сундучная вынужденная излучина |
| 46 | Шаланский | 1315-1310 | 5 | прямолинейное неразветвленное русло |

| | | | | |
|--|--------------------------------------|---------------|-----|--|
| 47 | Нижняя Шаланская излучина | 1310-1307 | 3 | пальцеобразная излучина |
| 48 | Верхняя Шиш-Тамацкая излучина | 1307-1304,5 | 2,5 | свободная излучина |
| 49 | Шиш-Тамацкий | 1304,5-1303 | 1,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 50 | поворот Шиш-Тамацкий | 1303-1301 | 2 | вынужденная излучина |
| 51 | Плотниковская излучина | 1301-1295,5 | 5,5 | петлеобразная свободная излучина |
| 52 | Нижняя Плотниковская излучина | 1295,5-1292,5 | 3 | вынужденная излучина с односторонним разветвлением в верхнем крыле |
| 53 | Таборинский | 1292,5-1289 | 3,5 | прямолинейное неразветвленное русло с осередковым разветвлением |
| III. п. Таборы – устье р. Ишима, 1289-1048 км, относительно суженное широкопойменное русло; серии излучин, чередующиеся с прямолинейными участками, и одиночными разветвлениями | | | | |
| 54 | Коктинская излучина | 1289-1287 | 2 | пологая излучина |
| 55 | Коктинский | 1287-1285,5 | 1,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 56 | Коктинское разветвление | 1285,5-1283,4 | 2,1 | одиночное разветвление |
| 57 | поворот Тайчинский | 1283,4-1281 | 2,4 | синусоидальная вынужденная излучина |
| 58 | Тайчинский | 1281-1277,5 | 3,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 59 | Тапканская излучина | 1277,5-1272,5 | 5 | свободная излучина с осередковым разветвлением в верхнем крыле |
| 60 | поворот Ивановский | 1272,5-1267 | 5,5 | большая пальцеобразная излучина |
| 61 | Ивановское разветвление ¹ | 1267-1263,8 | 3,2 | одиночное разветвление |
| 62 | поворот Половинский | 1264-1260,5 | 3,5 | вынужденная излучина |
| 63 | Бакшеевская излучина | 1260,5-1252 | 8,5 | большая сундучная излучина с одиночным разветвлением в верхнем крыле |
| 64 | Бакшеевское разветвление | 1258,5-1256,5 | 2 | одиночное разветвление в верхнем крыле излучины |
| 65 | Ниж. Бакшеевская | 1252-1250 | 2 | вынужденная излучина |
| 66 | Чириковский | 1250-1247 | 3 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 67 | поворот Аевский | 1247-1245 | 2 | свободная излучина (спрямление петлеобразной) |
| 68 | Бородинская излучина | 1245-1240 | 5 | вписанная сегментная излучина |

¹ Разветвление находится на участке перехода от нижнего к верхнему крылу петлеобразных излучин – Ивановским и Половинским поворотами

| | | | | |
|----|------------------------------------|-----------------|-----|---|
| 69 | Кайгарлинский | 1240-1236 | 4 | прямолинейное неразветвленное русло с осередковым разветвлением |
| 70 | Верх. Доронинская излучина | 1236-1231 | 5 | большая пальцеобразная излучина |
| 71 | Доронинская излучина | 1231-1229 | 2 | свободная излучина |
| 72 | Доронинский | 1229-1223 | 6 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 73 | поворот Петелинский | 1223-1221 | 2 | свободная излучина |
| 74 | Петелинский | 1221-1219 | 2 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 75 | поворот Журавлевский | 1219-1217 | 2 | излучина в месте спрямления бывшей петлеобразной |
| 76 | Нижний Журавлевский | 1217-1213 | 4 | свободная пологая излучина |
| 77 | поворот Изюкский | 1213-1211 | 2 | крутая синусоидальная свободная излучина |
| 78 | поворот Байбалинский | 1211-1205 | 6 | большая сегментная излучина |
| 79 | Изюкское разветвление | 1205-1202 | 3 | одионое разветвление |
| 80 | Верхняя Усть- Туйская излучина | 1202- 1198,5 | 3,5 | свободная сегментная излучина |
| 81 | поворот Усть- Туйский | 1198,5- 1197 | 1,5 | синусоидальная излучина |
| 82 | Александровский | 1197-1191 | 6 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 83 | Артюкская излучина | 1191- 1089,5 | 1,5 | свободная излучина |
| 84 | поворот Тевризский | 1189-1184 | 5 | вынужденная петлеобразная излучина |
| 85 | Тевризский | 1184-1179 | 5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 86 | Белоярская излучина | 1179-1174 | 5 | сегментная вписанная излучина |
| 87 | Черноярская излучина | 1174-1167 | 7 | большая свободная пологая излучина |
| 88 | Кузнецовская излучина | 1167-1161 | 6 | большая вписанная излучина |
| 89 | Нижняя Кузнецовская излучина | 1161-1157 | 4 | свободная сегментная излучина |
| 90 | Нижний Кузнецовский | 1157-1155 | 2 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 91 | поворот Сартынский | 1155- 1152,5 | 2,5 | свободная излучина |
| 92 | Петровский Опечки | 1152,5- 1146 | 6,5 | вписанная сундучная излучина |

| | | | | |
|---|------------------------------|-------------|-----|--|
| 93 | Петровская излучина | 1146-1139 | 7 | большая сундучная вынужденная излучина с одиночным разветвлением в верхнем крыле |
| 94 | Петровское разветвление | 1145-1142,5 | 2,5 | одиночное разветвление в верхней части сундучной излучины |
| 95 | поворот Петровский | 1139-1134 | 5 | синусоидальная вписанная излучина |
| 96 | Верхняя Куларовская излучина | 1134-1130 | 4 | сегментная свободная излучина |
| 97 | Куларовская излучина | 1130-1128,3 | 1,7 | свободная излучина |
| 98 | поворот Куларовский | 1128,3-1127 | 1,3 | свободная излучина |
| 99 | Бродниковская излучина | 1127-1124 | 3 | свободная излучина |
| 100 | Тентисская излучина | 1124-1116,5 | 7,5 | сундучная излучина с прибрежным разветвлением в верхнем крыле |
| 101 | Тентисское разветвление | 1123-1120 | 3 | прибрежное разветвление в верхнем крыле сундучной излучины |
| 102 | Авинская излучина | 1116,5-1109 | 7,5 | сундучная вписанная излучина |
| 103 | Кайсинская излучина | 1109-1097 | 12 | прорванная излучина |
| 104 | Нижняя Кайсинская излучина | 1097-1095 | 2 | вынужденная излучина |
| 105 | Ильчебагинский | 1095-1087 | 8 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 106 | Космаковская излучина | 1087-1080 | 7 | сундучная излучина |
| 107 | Аксеновская излучина | 1080-1076 | 4 | свободная сегментная излучина |
| 108 | Ярковская излучина | 1076-1072 | 4 | синусоидальная свободная излучина |
| 109 | поворот Колтырминский | 1072-1068 | 4 | вписанная излучина |
| 110 | Эрбагульская излучина | 1068-1064 | 4 | синусоидальная вписанная излучина с одиночным разветвлением в верхнем крыле |
| 111 | Эрбагульское разветвление | 1067-1065,5 | 1,5 | одиночное разветвление в верхнем крыле |
| 112 | поворот Утускунский | 1064-1062 | 2 | вынужденная излучина |
| 113 | Утускунский - Красонярский | 1062-1051 | 11 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 114 | Усть-Ишимское разветвление | 1051-1048 | 3 | одиночное разветвление |
| IV. устье р. Ишима – п. Борки, 1048-1011 км, врезанное русло: прямолинейное и врезанные излучины | | | | |
| 115 | Усть-Ишимский поворот | 1048-1045 | 3 | врезанная сегментная излучина |
| 116 | поворот Новоникольский | 1045-1041 | 4 | врезанная излучина |
| 117 | Бобровская излучина | 1041-1034,5 | 6,5 | врезанная пологая излучина |

| | | | | |
|--|--|-------------|-----|---|
| 118 | поворот Романовский | 1034,5-1031 | 3,5 | врезанная излучина |
| 119 | Новодеревенская излучина | 1031-1026 | 5 | пологая врезанная излучина |
| 120 | Новодеревенский | 1026-1023 | 3 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 121 | Саканаиркаская излучина | 1023-1020 | 3 | врезанная сегментная излучина |
| 122 | Казаковская | 1020-1016,5 | 3,5 | крутая врезанная излучина |
| 123 | Скородумский | 1016,5-1011 | 5,5 | прямолинейное неразветвленное русло с осередковым разветвлением |
| V. п. Борки – гора Еланская, 1011-915 км, широкопойменное русло, излучины | | | | |
| 124 | поворот Скородумский | 1011-1009 | 2 | адаптированная излучина |
| 125 | Скородумская – Верхнепановская излучины | 1009-1004 | 5 | пальцеобразная излучины |
| 126 | Пановская излучина | 1004-995 | 9 | петлеобразная вписанная излучина |
| 127 | Тебендинская излучина | 995-987 | 8 | петлеобразная излучина с одиночным разветвлением на верхнем крыле |
| 128 | Тебендинское разветвление | 994-992 | 2 | одиночное разветвление в верхнем крыле излучины |
| 129 | Березьянская излучина | 987-982,5 | 4,5 | большая пологая излучина |
| 130 | поворот Саургачинский | 982,5-977 | 5,5 | синусоидальная илучина |
| 131 | Саургачинская излучина | 977-972 | 5 | большая сегментная излучина |
| 132 | поворот Верх. Токаревский | 972-968 | 4 | пальцеобразная излучина |
| 133 | Бичинская излучина | 968-959,2 | 8,8 | петлеобразная излучина |
| 134 | Токаревская излучина и поворот Загваздинский | 959,2-953 | 6,2 | сундучная вписанная излучина |
| 135 | Загваздинская излучина | 953-949,5 | 3,5 | пологая излучина |
| 136 | Тюлюганский | 949-947 | 2 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 137 | Бичинская излучина | 947-945,5 | 1,5 | сегментная излучина |
| 138 | поворот Тюлюганский | 945,5-943 | 2,5 | крутая излучина |
| 139 | поворот Киликовский | 943-941,5 | 1,5 | вынужденная излучина |
| 140 | Нижний Киликовский | 941,5-939 | 2,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 141 | Тайлацкая излучина | 939-937 | 2 | сегментная излучина |
| 142 | поворот Тыкмыкский | 937-933 | 4 | вписанная пальцеобразная излучина |
| 143 | Верхняя Клешнева излучина | 933-930 | 3 | сегментная излучина |
| 144 | Абаульская излучина | 930-928 | 2 | свободная излучина |

| | | | | |
|---|--|-----------------|-----|---|
| 145 | Клешневский | 928-926,5 | 1,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 146 | поворот Малокарагайский | 926,5-925 | 1,5 | вписанная излучина |
| 147 | Кайнаульский | 925-921,5 | 3,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 148 | поворот Кайнаульский | 921,5-918 | 3,5 | пальцеобразная излучина |
| 149 | поворот Бичинский | 918-915 | 3 | вписанная излучина |
| 150 | Еланский | 915-909 | 6 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 151 | Карагайская излучина и поворот Карагайский | 909-902 | 7 | сундучная излучина |
| 152 | повороты Каюковский и Аллагуловский | 902-897 | 5 | сундучная излучина |
| 153 | Первомайковская излучина | 897-888 | 9 | петлеобразная врезанная излучина |
| 154 | Аллагуловская излучина | 888-884 | 4 | вписанная излучина с осередковым разветвлением в привершинной части |
| 155 | Бульжное разветвление | 884-880,5 | 3,5 | одиночное разветвление |
| 156 | поворот Каргачинский | 880,5- 878,5 | 2 | адаптированная излучина |
| 157 | поворот Акшагулов Мыс | 878,5- 875,5 | 3 | адаптированная излучина |
| 158 | Сайтовская излучина | 875,5-871 | 3,5 | врезанная излучина |
| 159 | поворот Маметелевский | 871-866 | 5 | врезанная излучина |
| 160 | Салинская излучина | 866-860,5 | 5,5 | врезанная сундучная излучина с разветвлением в верхнем изгибе |
| 161 | Салинское разветвление | 865-862,2 | 2,8 | одиночное разветвление на верхнем изгибе сундучной излучины |
| 162 | поворот Салинский | 860,5-859 | 1,5 | врезанная излучина |
| 163 | Курьинский | 859-852 | 7 | прямолинейное врезанное русло |
| VI. н.п. Курья – п. Абалак, 852-696 км, широкопойменное русло, свободные и вынужденные излучины с одиночными разветвлениями на крыльях и в привершинных частях | | | | |
| | Зенковская излучина | 852-847 | 5 | сегментная свободная излучина |
| 164 | Ренчинская излучина и поворот Еланьярский | 847-840 | 7 | сундучная вписанная излучина |
| 165 | Катангуйское разветвление ² | 840-837 | 3 | одиночное разветвление |
| 166 | поворот Быковский | 837-835 | 2 | вынужденная излучина |
| 167 | поворот Ниж. Быковский – Верх. Супринская излучина | 835-828 | 7 | сундучная излучина |
| 168 | поворот Супринский | 828-825,5 | 2,5 | пальцеобразная излучина |

² Разветвление находится на участке перехода от нижнего крыла Еланьярской излучины к верхнему – Быковский поворот

| | | | | |
|-----|---|-------------|-----|--|
| 169 | Супринская излучина | 825,5-819 | 6,5 | сегментная излучина с разветвлением в привершинной части |
| 170 | Супринское разветвление | 825-822,5 | 2,5 | одиночное разветвление в привершинной части излучины |
| 171 | поворот Югоярский | 819-814 | 5 | вписанная излучина |
| 172 | Шабринская излучина | 814-810 | 4 | сегментная излучина |
| 173 | поворот Шабринский | 810-807,5 | 2,5 | вынужденная излучина |
| 174 | Березовская излучина | 807,5-806 | 1,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 175 | Березовская излучина | 806-804 | 2 | свободная излучина |
| 176 | Шапошниковская излучина | 804-796,5 | 7,5 | свободная излучина с разветвлением в привершинной части |
| 177 | Шапошниковское разветвление | 802-797 | 5 | одиночное разветвление в привершинной части излучины |
| 178 | Сосновская излучина | 796,5-792,5 | 4 | свободная излучина с прибрежным разветвлением в привершинной части |
| 179 | Сосновское разветвление | 796-794 | 2 | прибрежное разветвление в привершинной части излучины |
| 180 | Экстезерская излучина | 792,5-789 | 3,5 | свободная сегментная излучина |
| 181 | Дудниковский | 789-783 | 6 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 182 | поворот Баишевский и Инжурская излучина | 783-779 | 4 | сундучная вписанная излучина |
| 183 | Климовский | 779-776,5 | 2,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 184 | Криванковская излучина | 776,5-773,5 | 3 | пологая сегментная излучина |
| 185 | Бегишевская излучина | 773,5-771,5 | 2 | сегментная излучина |
| 186 | поворот Кульмамецкий | 771,5-768 | 3,5 | сегментная излучина |
| 187 | Верхняя Карелинская излучина | 768-764 | 4 | сегментная излучина |
| 188 | поворот Карелинский | 764-761 | 3 | пальцеобразная вписанная излучина |
| 189 | Вагайский участок | 761-758,5 | 2,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 190 | Вагайская излучина | 758,5-755 | 3,5 | прорванная сундучная излучина |
| 191 | Вагайское разветвление | 758-755,5 | 3,5 | одиночное разветвление |
| 192 | Ермаковская излучина | 755-749 | 6 | петлеобразная излучина |
| 193 | Кобякская излучина | 749-740 | 9 | сундучная вписанная излучина с прибрежным разветвлением в привершинной части |

| | | | | |
|---|-------------------------------|-------------|-----|---|
| 194 | Кобякское разветвление | 745,2-742,5 | 2,7 | прибрежное одностороннее разветвление в привершинной части излучины |
| 195 | Байгарский | 740-737 | 3 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 196 | поворот Нижний Байгарский | 737-734,5 | 2,5 | сегментная крутая излучина |
| 197 | Волковский | 734,5-732 | 2,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 198 | Верхняя Полуяновская излучина | 732-727,5 | 4,5 | сегментная излучина |
| 199 | Полуяновская излучина | 727,5-723 | 4,5 | сундучная вписанная излучина |
| 200 | Устамацкая излучина | 723-721 | 2 | сегментная излучина |
| 201 | Нижний Устамацкий | 721-719 | 2 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 202 | поворот Екимовский | 719-716,5 | 2,5 | синусоидальная излучина |
| 203 | Епанчинская излучина | 716,5-711 | 5,5 | петлеобразная вписанная излучина |
| 204 | Маяцкая излучина | 711-705,5 | 5,5 | крутая сегментная излучина с одиночным разветвлением в привершинной части |
| 205 | Маяцкое разветвление | 709-706,5 | 3,5 | одиночное разветвление в привершинной части крутой сегментной излучина |
| 206 | поворот Подбугорный | 705,5-703,5 | 2 | крутая свободная излучина |
| 207 | Подбугорный | 703,5-701 | 2,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 208 | поворот Абалакский | 701-698 | 3 | обтекающая излучина |
| 209 | Абалакская излучина | 698-696 | 2 | вписанная излучина |
| VII. н.п. Абалак – устье р. Тобола, 696-664,5 км, широкопойменное русло, прямолинейное между одиночными излучинами | | | | |
| 210 | Преображенский | 696-688 | 8 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 211 | Саусканская излучина | 688-683 | 5 | сегментная излучина |
| 212 | поворот Токаревский | 683-681 | 2 | вынужденная излучина |
| 213 | Исневский | 681-674,5 | 6,5 | прямолинейное неразветвленное русло |
| 214 | поворот Подчуващинский | 674,5-672 | 2,5 | вписанная излучина |
| 215 | Усть-Тобольская излучина | 672-664,5 | 7,5 | большая сегментная излучина с разветвлением в привершинной части |
| 216 | Бизинское разветвление | 669,5-666,5 | 3,0 | одиночное разветвление в привершинной части излучины |

Морфодинамические типы русла нижнего Иртыша (от устья р. Тобола до слияния с Обью)

| № п/п | Название излучин, рукавов, прямолинейных участков | Км от устья | Длина, км | Тип русла |
|--------------|--|--------------------|------------------|---|
| 1 | Усть-Тобольский | 666,5-649 | 17,5 | Прямолинейное неразветвленное русло вдоль правого коренного берега (включая нижнее крыло Усть-Тобольской излучины) |
| 2 | Кориковская | 649-638 | 11 | Большая пальцеобразная излучина |
| 3 | Дурынинская-Медведчиковская | 638-622 | 16 | Трапециевидная (сундучная) излучина |
| | а) Дурынинская | 638-631 | 7 | Вынужденная излучина |
| | б) б/н | 631-626 | 5 | Прямолинейное русло у правого коренного берега |
| | в) Медведчиковская | 626-622 | 4 | Адаптированная излучина |
| 4 | Иштаманская-Тычинская | 622-600 | 22 | Три большие сегментные излучины |
| | а) Иштаманская | 622-615 | 7 | Сегментная излучина |
| | б) Бронниковская | 615-610 | 5 | Сегментная излучина |
| | в) Тычинская | 610-600 | 10 | Сегментная излучина |
| 5 | Панушковская-Аремзянская | 600-587 | 13 | Трапециевидная (сундучная) излучина |
| | а) Панушковская | 600-596 | 4 | Вынужденная излучина |
| | б) б/н | 596-593 | 3 | Прямолинейное русло вдоль правого коренного берега |
| | в) Аремзянская | 593-587 | 6 | Вписанная излучина |
| 6 | Филатовская | 587-578 | 9 | Сегментная излучина с одиночным разветвлением в привершинной части |
| 7 | У горы Надцынской | 578-573 | 5 | Вписанная излучина |
| 8 | Надцынская | 573-564,5 | 8,5 | Прорванная излучина: спрямленное русло – маловодное, за мысом правого коренного берега; в нижнем крыле основного русла – вторичный изгиб |
| 9 | Верх. Карбинский | 564,5-553 | 11,5 | Прямолинейное русло вдоль правого коренного берега |
| 10 | Староямская | 553-542 | 11 | Петлеобразная излучина |
| | а) Нижнекарбинская | 553-549,5 | 3,5 | Излучина в верхнем крыле |
| | б) Староямская | 549,5-542 | 7,5 | Привершинная часть |
| в) б/н | Прямолинейное нижнее крыло | | | |
| 11 | б/н | 542-538 | 4 | Одиночное разветвление |
| 12 | Маильская (гора Спартановская) | 538-533 | 5 | Вписанная излучина |
| 13 | Слинкинский | 533-526 | 7 | Прямолинейное русло с прибрежными |

| | | | | |
|-----------|---|------------------|-------------|--|
| | | | | разветвлениями вдоль правого коренного берега |
| 14 | Цимбельская- Малысакская | 526-511,5 | 14,5 | Две большие излучины |
| | а) Цимбельская | 526-520 | 6 | Сегментная излучина |
| | б) Малысакская | 520-511,5 | 8,5 | Сегментная излучина |
| 15 | Укинская | 511,5-496 | 15,5 | Петлеобразная излучина (спрямленная) с разветвлением в верхнем крыле |
| | а) б/н | 498,5- 498,2 | 0,3 | Спрявление (проран) |
| | б) о-ва Верх. Укинский, Укинский | 509-505 | 4 | Разветвление в верхнем крыле |
| | в) б/н | 505-500 | 5 | Привершинная часть |
| | г) б/н | 500-496 | 4 | Излучина в нижнем крыле |
| 16 | Новосельская- Верхняя Есаульская | 496-484,5 | 11,5 | Две излучины с островами в привершинных частях |
| | а) Новосельская | 496-491 | 5 | Сегментная излучина с островом в привершинной части |
| | б) Есаульская | 491-484,5 | 6,5 | Сегментная излучина с островом |
| 17 | Торфяная | 484,5-474 | 10,5 | Петлеобразная вписанная излучина с коренным берегов в привершинной части и нижнем крыле |
| | а) Есаульская | 483-480 | 3 | Свободная излучина в верхнем крыле |
| | б) Торфяная | 480-475 | 5 | Привершинная часть (вписанная излучина) |
| | в) б/н | 475-474 | 1 | Прямолинейное нижнее крыло вдоль правого коренного берега |
| 18 | Ахмановская | 474-467 | 7 | Сегментная излучина с осередковым разветвлением в привершинной части |
| 19 | б/н | 467-464 | 3 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 20 | Максимовская | 464-457 | 7 | Синусоидальная излучина |
| 21 | Селенгинская | 457-445,5 | 11,5 | Вписанная трапециевидная излучина с одиночным разветвлением в верхнем крыле |
| 22 | Тальничья | 445,5-440 | 5,5 | Сегментная излучина с островом в привершинной излучины |
| 23 | Уватский | 440-431 | 9 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 24 | Кирсарайская- Сургутская | 431-421 | 10 | Трапециевидная (сундучная) излучина |
| | а) Кирсарайская | 431-428 | 3 | Вынужденная излучина |
| | б) б/н | 428-424,5 | 3,5 | Прямолинейное русло вдоль правого коренного берега |

| | | | | |
|----|--------------------------------|-------------|-----|---|
| | в) Сургутская | 424,5-121 | 3,5 | Адаптированная излучина |
| 25 | Лебаутская | 421-414,5 | 6,5 | Вписанная синусоидальная излучина |
| 26 | Лебаутское | 414,5-407,5 | 7 | Одинокое разветвление |
| 27 | Кошелевская (гора Кошелевская) | 407,5-405 | 2,5 | Вынужденная излучина |
| 28 | Кошелевская-Осинниковская | 405-396 | 9 | Две излучины |
| | а) Кошелевская | 405-398,5 | 6,5 | Вписанная излучина с осередковым разветвлением в привершинной части |
| | б) Осинниковская | 398,5-396 | 2,5 | Сегментная излучина |
| 29 | Буренский | 396-391 | 5 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 30 | Чебунинская | 391-386 | 5 | Обтекающая излучина (шпора – коренной берег) |
| 31 | Першинская-Варлымовская | 386-367 | 19 | Две смежные трапециевидные излучины |
| | 1) Першинская (386-376,5 км) | | | |
| | а) б/н | 386-382,5 | 3,5 | Вынужденная излучина |
| | б) б/н | 382,5-378,5 | 4 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| | в) б/н | 378,5-376,5 | 2 | Свободная излучина |
| | 2) Варлымовская (376,5-367 км) | | | |
| | а) б/н | 376,5-372 | 4,5 | Вынужденная излучина |
| | б) б/н | 372-370,5 | 1,5 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| | в) б/н | 370,5-367 | 3,5 | Вписанная излучина |
| 32 | Солянская | 367-360,5 | 6,5 | Вынужденная излучина с осередковым разветвлением в верхнем крыле и прибрежным разветвлением у вогнутого берега в привершинной части |
| 33 | Ищиковский | 360,5-354 | 6,5 | Прямолинейное русло вдоль правого коренного берега |
| 34 | Прилукское | 354-349 | 5 | Одинокое разветвление |
| 35 | Кокуйская | 349-344 | 5 | Синусоидальная излучина |
| 36 | Скворцовское | 344-338,5 | 5,5 | Одинокое разветвление |
| 37 | Шиловский | 338,5-332 | 6,5 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 38 | Усть-Демьянская-Демьянская | 332-318 | 14 | Две большие излучины |
| | а) Усть-Демьянская | 332-327 | 5 | Сегментная излучина |
| | б) Демьянская | 327-318 | 9 | Сегментная излучина |
| 39 | Гатиловское | 318-312 | 6 | Одностороннее разветвление |
| 40 | Мурзинская | 312-307 | 5 | Вписанная излучина |
| 41 | Черноярское | 307-301 | 6 | Одинокое разветвление |
| 42 | Черняковский | 301-291 | 10 | Относительно прямолинейное (слабоизогнутое) русло |
| 43 | Тугаловское | 291-284,5 | 6,5 | Параллельно-рукавное разветвление |

| | | | | |
|----|------------------------------------|-------------|------|---|
| 44 | б/н | 284,5-281,5 | 3,0 | Большая сегментная излучина |
| 45 | Ниж. Тугаловский | 281,5-276 | 5,5 | Прямолинейное русло с прибрежным разветвлением |
| 46 | Лугово-Субботинская | 276-267 | 9 | Сегментная излучина |
| 47 | Субботинская | 267-254 | 13 | Пальцеобразная вписанная излучина с нижним крылом вдоль правого коренного берега |
| 48 | Ячинская | 254-244 | 10 | Большая сегментная излучина с разветвлением в верхнем крыле |
| 49 | Тугоносовская | 244-238,5 | 5,5 | Вынужденная излучина с разветвлением (о-ва Тугоносовский и б/н) у выпуклого берега |
| 50 | Бобровский | 238,5-235 | 3,5 | Прямолинейное русло вдоль правого коренного берега |
| 51 | Староиртышская | 235-231 | 4 | Прорванная излучина |
| | Старый Иртыш | - | - | Излучина – старое русло |
| | - | 235-232,5 | 2,5 | Излучина – новое русло |
| | - | 232,5-231 | 1,5 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 52 | Горноправдинская | 231-225 | 6 | Вписанная излучина |
| 53 | Филинское | 225-217,5 | 7,5 | Одинокое разветвление (о. Ниж. Филинский) |
| 54 | б/н | 217,5-214,5 | 3 | Прямолинейное русло с осередковым и прибрежными разветвлениями |
| 55 | Чембакчинская (гора Чембакчинская) | 214,5-209,5 | 5 | Вписанная излучина |
| 56 | Чембакчинская | 209,5-199 | 10,5 | Большая сегментная излучина со спрямляющей протокой (о. Чембакчинский) |
| 57 | Цингальское | 199-193 | 6 | Одинокое разветвление |
| 58 | б/н | 193-188 | 5 | Прямолинейное русло с осередковым разветвлением |
| 59 | Слушкинская-Верх. Семейкинская | 188-178 | 10 | Две смежные излучины |
| | а) Слушкинская | 188-184,5 | 3,5 | Синусоидальная излучина |
| | б) Верх. Семейкинская | 184,5-178 | 6,5 | Сегментная излучина |
| 60 | Семейкинская | 178-169 | 9 | Вписанная излучина с разветвлением в верхнем крыле (о. Семейкинский) |
| 61 | Сотниковское | 169-157 | 12 | Одностороннее разветвление (о. Сотниковский) вдоль правого коренного берега (гора Семейкинская) |

| | | | | |
|----|----------------------------------|------------------|------------|--|
| 62 | Сотниковская-Саргачинская | 157-148 | 9 | Две смежные излучины |
| | а) Сотниковская | 157-154 | 3 | Сегментная излучина |
| | б) Саргачинская | 154-148 | 6 | Пальцеобразная излучина |
| 63 | Бобровско-Заводинский | 148-128 | 20 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло с шахматным расположением побочней |
| 64 | Короткая | 128-124 | 4 | Синусоидальная излучина |
| 65 | Верх. Реполовское | 124-117 | 7 | Одинокое разветвление |
| 66 | Реполовский | 117-110 | 7 | Прямолинейное русло с односторонним (правобережным) разветвлением |
| 67 | Кировский поворот | 110-106,5 | 3,5 | Заваленная вынужденная излучина |
| 68 | Ниж. Реполовский | 106,5-102 | 4,5 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 69 | б/н | 102-83 | 19 | Шесть смежных излучин |
| | а) Юрточный поворот | 102-100 | 2 | Сегментная излучина |
| | б) Ромашевский поворот | 100-98 | 2 | Синусоидальная излучина |
| | в) Чемачинский поворот | 98-95 | 3 | Пальцеобразная излучина |
| | г) Паньшевская | 95-92 | 3 | Сегментная излучина |
| | д) Усть-Кондинская | 92-88 | 4 | Синусоидальная излучина |
| | е) Тюлинская | 88-83 | 5 | Сегментная излучина с разветвлением в привершинной части |
| 70 | Оксино-Тимкинский | 83-77,5 | 5,5 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 71 | Согомская | 77,5-74 | 3,5 | Сегментная излучина |
| 72 | Базьянский | 74-68 | 6 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 73 | б/н | 68-40 | 28 | Шесть смежных излучин |
| | а) Пароходская | 68-64 | 4 | Сегментная излучина |
| | б) Фроловская | 64-59 | 5 | Синусоидальная излучина с островом в привершинной части |
| | в) Мануйловская | 59-56 | 3 | Сегментная излучина с островом в привершинной части |
| | г) Тополиная | 56-51,5 | 4,5 | Синусоидальная излучина |
| | д) Ниж. Мануйловская | 51,5-46 | 5,5 | Сегментная излучина с разветвлением в привершинной части |
| | е) Тимошкинская | 46-40 | 6 | Сегментная излучина со спрямляющей протокой через шпору (протока Чайкина, о.Тимошкин) |
| 74 | Конный | 40-37 | 3 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 75 | Долгое | 37-31,5 | 5,5 | Одинокое разветвление (протока Долгая) |

| | | | | |
|----|-------------------------|---------|-----|---|
| 76 | Самаровская | 31,5-26 | 5,5 | Вынужденная сегментная излучина с нижним крылом вдоль коренного берега, в нижнем крыле у вогнутого берега – прибрежное разветвление |
| 77 | Ханты-Мансийская | 26-18,5 | 7,5 | Обтекающая излучина с разветвлением в привершинной части (о. Самаровский) |
| 78 | Ханты-Мансийский | 18,5-12 | 6,5 | Прямолинейное, неразветвленное русло |
| 79 | Неулевская-Черемховская | 12-2,5 | 9,5 | Две сегментные излучины |
| | а) Неулевская | 12-8,5 | 3,5 | Сегментная излучина |
| | б) Черемховская | 8,5-2,5 | 6 | Сегментная излучина с разветвлением в привершинной части (о. Старый Черемховский) |
| 80 | Обь-Иртышское | 2,5-0 | 2,5 | Устьевое осередковое разветвление |

**Характеристика морфологически однородных участков на больших и средних реках
Обь-Иртышского бассейна**

| № п/п | Километраж по судовому ходу | Тип русла | Дополнительные сведения |
|--------------|-----------------------------|---|---|
| Томь | | | |
| 1 | 131-103,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | |
| 2 | 103,5-80,5 | Пойменно-русловые разветвления | |
| 3 | 80,5-74 | Сундучная излучина | Комбинация вынужденной излучины, прямолинейного отрезка и адаптированной излучины |
| 4 | 74-45 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | |
| 5 | 45-39 | Одиночное разветвление | |
| 6 | 39-25,5 | Односторонние разветвления | |
| 7 | 25,5-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | |
| Чулым | | | |
| 8 | 1144-1136 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 9 | 1136-1104 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | |
| 10 | 1104-1039 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины, чередующиеся с | Русло реки проходит вдоль правого коренного берега |

| | | | |
|-----------|-------------|--|---|
| | | вынужденными и адаптированными, разделенные прямолинейным руслом | |
| 11 | 1039-990 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются одна прорванная излучина и излучина с островом в вершине |
| | 990-984 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| | 984-927 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречается спрямленная излучина и излучина с островом в вершине |
| 12 | 927-926 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 13 | 926-897,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | |
| 14 | 897,5-896 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 15 | 896-691 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются пойменно-русловое разветвление, прорванная излучина и одиночное разветвление |
| 16 | 691-611485 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 17 | 685-547 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленная и прорванная излучины, излучины с островами на вершине и в нижнем крыле, одиночное разветвление |
| 18 | 547-542 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 19 | 542-336 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречается излучина с островом в вершине и пойменно-русловое разветвление |
| 20 | 336-326,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 21 | 326,5-283,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречается одиночное разветвление |
| 22 | 283,5-277,5 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 23 | 277,5-230 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречается прорванная излучина |
| 24 | 230-220 | Пойменно-русловые разветвления | Рукава меандрируют |
| 25 | 220-99,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются излучины с островами в вершинах и на крыльях, одиночное и пойменно-русловое разветвления |
| 26 | 99,5-83 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 27 | 83-44 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются излучины с островами в вершинах и на крыльях |
| 28 | 44-25 | Пойменно-русловые разветвления | Рукава меандрируют |

| | | | |
|-------------|-------------|--|--|
| 29 | 25-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются излуцины с островами в вершинах |
| Кеть | | | |
| 30 | 1132-554,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются прямолинейные участки длиной до 3 км и вынужденные излуцины при подходе русла к коренному берегу, спрямленные излуцины |
| 31 | 554,5-548,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 32 | 548,5-527 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленная излуцина за счет встречного размыва берегов на ее крыльях и излуцина с островом в вершине |
| 33 | 527-419 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 34 | 419-390,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | |
| 35 | 390,5-388,5 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 36 | 388,5-248 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются одиночные разветвления и острова на крыльях и в вершинах излуцин |
| 37 | 248-242 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 38 | 242-218 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | |
| 39 | 218-211,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 40 | 211,5-187,5 | Раздвоенное русло | |
| 41 | 187,5-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | На данном участке Кеть подходит к Оби и, поворачивая, течет параллельно ей, меняя название на Копыловскую Кеть, и являясь частью раздвоенного русла средней Оби. Кеть и Обь имеют гидравлическую связь по многочисленным пойменным протокам (ответвлениям) – Тогурская Обь, протока Пирянга и др. Также на участке имеется одно одиночное разветвление |
| Тым | | | |
| 42 | 704-687 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | |
| 43 | 687-685 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| | 685-380 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленная излуцина за счет встречного размыва берегов на ее крыльях и излуцина с островом на ее крыле |
| | 380-375 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |

| | | | |
|------------------|-------------|--|--|
| | 375-240 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямления излуцин за счет встречного размыва берегов на их крыльях |
| | 240-233 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 44 | 233-87,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются за счет встречного размыва берегов на их крыльях и излуцина с островом в вершине |
| 45 | 87,5-81 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| | 81-64 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | |
| | 64-59 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 46 | 59-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречается одиночное разветвление и излуцины с островами на крыльях и в вершине |
| Вах | | | |
| 47 | 906-643 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях, излуцина с островом в вершине, одиночное и два пойменно-русловых разветвления с меандрирующими рукавами |
| 48 | 643-637,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 49 | 637,5-465,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречается одиночное разветвление |
| 50 | 465,5-455,5 | Раздвоенное русло | Рукава меандрируют |
| 51 | 455,5-449 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 52 | 449-419 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Есть одиночное разветвление и излуцина с островом в вершине |
| 53 | 419-412 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| | 412-346 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются вынужденные излуцины при подходе к левому коренному берегу и излуцины с островами на крыльях и в вершине |
| | 346-340 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 54 | 340-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются излуцины с островами в вершине и на их крыльях, прорванная излуцина и одиночные разветвления |
| Громьеган | | | |
| 55 | 570-93,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях, излуцины с острова в вершинах и на крыльях, одиночные и односторонние разветвления |

| | | | |
|--------------|-------------|--|--|
| | 93,5-87,5 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| | 87,5-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются одиночное разветвление |
| Аган | | | |
| 56 | 544-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются прорванные и спрямленные излучины за счет встречного размыва берегов на их крыльях, излучины с островами на вершинах и одиночные разветвления |
| Лямин | | | |
| 57 | 420-10 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленные излучины за счет встречного размыва берегов на их крыльях, вынужденные излучины и прямолинейные участки при подходе русла к правому коренному берегу. В приустьевой части находится озеро – сор. |
| Казым | | | |
| 58 | 659-595 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | |
| 59 | 595-590 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 60 | 590-585 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | |
| 61 | 585-582 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 62 | 582-420 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленные излучины за счет встречного размыва берегов на их крыльях |
| 63 | 420-416 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 64 | 416-170,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются вынужденные излучины при подходе к коренному берегу, острова на крыльях излучин, прорванные излучины и одиночные разветвления |
| 65 | 170,5-155,5 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Встречаются односторонние разветвления |
| 66 | 155,5-99,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Распространены острова на крыльях и в вершинах излучин |
| 67 | 99,5-28,5 | Раздвоенное русло | Есть острова на крыльях и в вершинах излучин |
| 68 | 28,5-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Приустьевое озеро – сор |
| Полуй | | | |
| 69 | 397-204 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются вынужденные и адаптированные излучины |

| | | | |
|-----------------|-------------|--|--|
| 70 | 204-199 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 71 | 199-192 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Встречаются одностороннее разветвление |
| 72 | 192-188,5 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 73 | 188,5-142,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямлённые излучины за счет встречного размыва берегов на их крыльях и острова на крыльях излучин |
| 74 | 142,5-140 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 75 | 140-119 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | |
| 76 | 119-116 | Одиночные, в т.ч. чередующиеся, разветвления | |
| 77 | 116-97 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 78 | 97-86 | Одиночные, в т.ч. чередующиеся, разветвления | |
| 79 | 86-40 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | На данном участке реки находится приустьевое озеро - сор |
| 80 | 16-10 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 81 | 10-8 | Одиночные, в т.ч. чередующиеся, разветвления | |
| 82 | 8-3,5 | Вынужденная и обтекающая излучины | |
| 83 | 3,5-0 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| Парабель | | | |
| 84 | 308-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленные излучины за счет встречного размыва берегов на их крыльях; вынужденные излучины при подходе русла к правому коренному берегу |
| Васюган | | | |
| 85 | 840-580 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются вынужденные излучины при подходе к коренному берегу |
| 86 | 580-567 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины, чередующиеся с вынужденными и адаптированными | Река проходит вдоль правого коренного берега |
| 87 | 567-563 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |

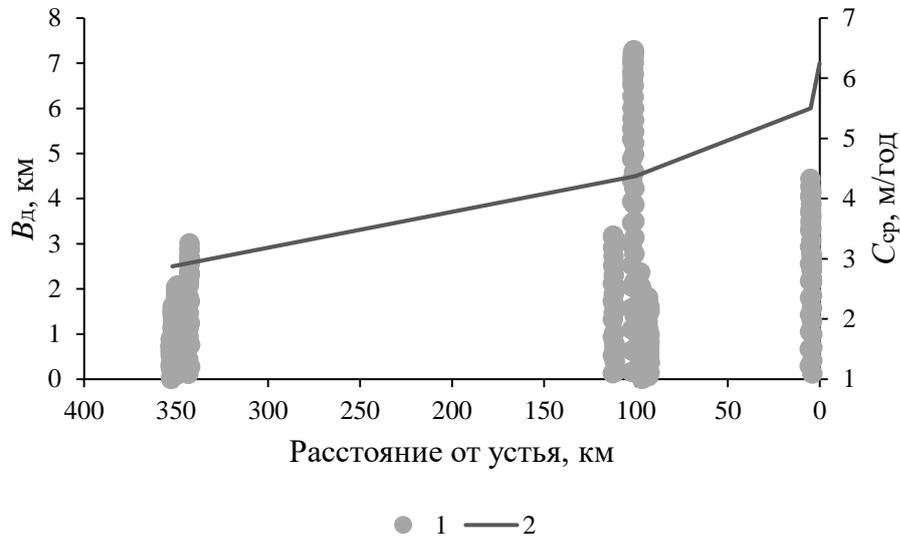
| | | | |
|------------------------|-----------|--|---|
| 88 | 563-180 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях, при подходе к правому коренному берегу – вынужденные |
| 89 | 180-166 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 90 | 166-156 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 91 | 156-149 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 92 | 149-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются вынужденные излуцины при подходе к правому коренному берегу |
| Большой Юган | | | |
| 93 | 708-673 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях |
| 94 | 673-669 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 95 | 669-195,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные за счет встречного размыва берегов на их крыльях и прорванные излуцины |
| 96 | 195,5-192 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Имеется разветвление 2-го порядка |
| 97 | 192-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются вынужденные излуцины при подходе к левому коренному берегу |
| Северная Сосьва | | | |
| 98 | 201-156 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Острова на крыльях излуцин |
| 99 | 156-136 | Вынужденные и адаптированные излуцины | Русло подходит к правому коренному берегу |
| 100 | 136-112 | Одиночные, в т.ч. чередующиеся, разветвления | |
| 101 | 112-98 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 102 | 98-82 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Острова на крыльях излуцин |
| 103 | 82-50,5 | Одиночные, в т.ч. чередующиеся, разветвления | |
| 104 | 50,5-4 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | |
| 105 | 4-0 | Одиночные, в т.ч. чередующиеся, разветвления | |
| Тара | | | |
| 106 | 411-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях |

| Демьянка | | | |
|-----------------|---------|--|---|
| 107 | 720-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях |
| Тобол | | | |
| 108 | 402-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях |
| Тура | | | |
| 109 | 665-634 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречается одиночное разветвление и при подходе к правому коренному берегу – вынужденные излуцины |
| 110 | 634-618 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Имеется разветвления 2-го порядка |
| 111 | 618-518 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях, на участке при подходе к правому коренному берегу встречаются вынужденные излуцины и прямолинейные участки русла |
| 112 | 518-515 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 113 | 515-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях и вынужденные излуцины при подходе к правому коренному берегу |
| Тавда | | | |
| 114 | 733-508 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | |
| 115 | 508-492 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Имеется разветвление 2-го порядка |
| 116 | 492-425 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | |
| 117 | 425-368 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Встречаются одиночные излуцины |
| 118 | 368-276 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные за счет встречного размыва берегов на их крыльях и вынужденные излуцины |
| 119 | 276-253 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Имеется разветвление 2-го порядка |
| 120 | 253-188 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного размыва берегов на их крыльях |
| 121 | 188-169 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |
| 122 | 169-0 | Свободные сегментные и петлеобразные излуцины | Встречаются спрямленные излуцины за счет встречного |

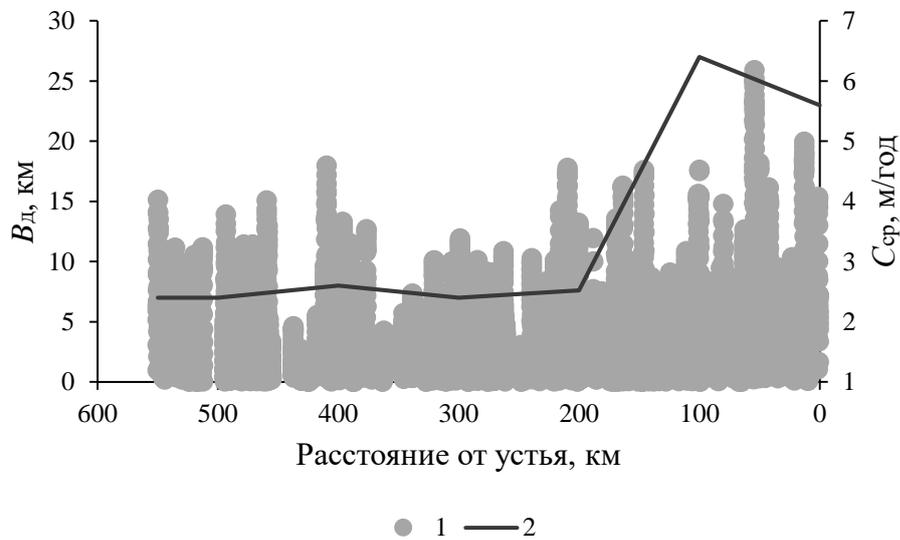
| | | | |
|--------------|-------------|--|---|
| | | | размыва берегов на их крыльях и одиночные разветвления |
| Конда | | | |
| 123 | 833-618 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленные за счет встречного размыва берегов на их крыльях и прорванные излучины |
| 124 | 618-615 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 125 | 615-550 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Подходя к правому коренному, излучины русло образует вынужденные излучины |
| 126 | 550-505 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Встречаются одиночные излучины |
| 127 | 505-618 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленные излучины за счет встречного размыва берегов на их крыльях |
| 128 | 618-615 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 129 | 615-437 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленные за счет встречного размыва берегов на их крыльях и прорванные излучины, острова на крыльях и в вершинах излучин |
| 130 | 437-430 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | Имеются разветвления 2-го порядка |
| 131 | 430-377,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленные излучины за счет встречного размыва берегов на их крыльях |
| 132 | 377,5-367,5 | Раздвоенное русло | Рукава меандрируют |
| 133 | 367,5-155 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются спрямленные за счет встречного размыва берегов на их крыльях и прорванные излучины, одиночные разветвления |
| 135 | 155-148 | Пойменно-русловое разветвление | Рукава меандрируют |
| 135 | 148-13,5 | Свободные сегментные и петлеобразные излучины | Встречаются прорванные излучины, также на этом участке Конда в приустьевом участке образует озеро-сор |
| 136 | 13,5-0 | Относительно прямолинейное неразветвленное русло | |

Приложение 3

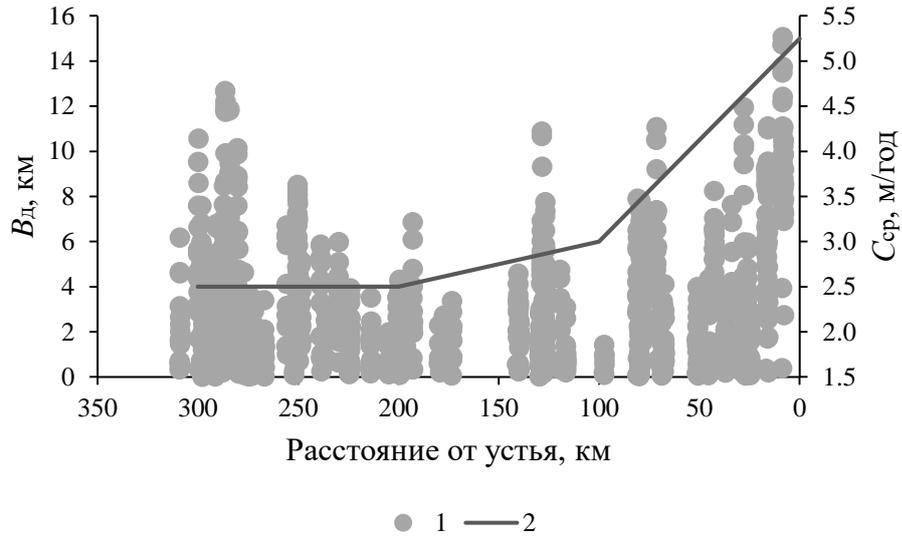
Изменение средней скорости размыва берегов и ширины днища долины на притоках Оби и Иртыша



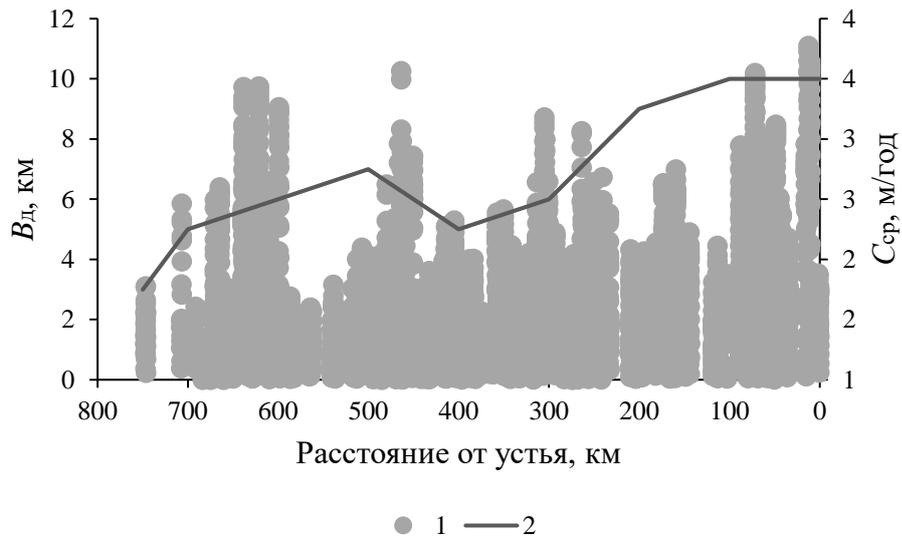
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине Томи



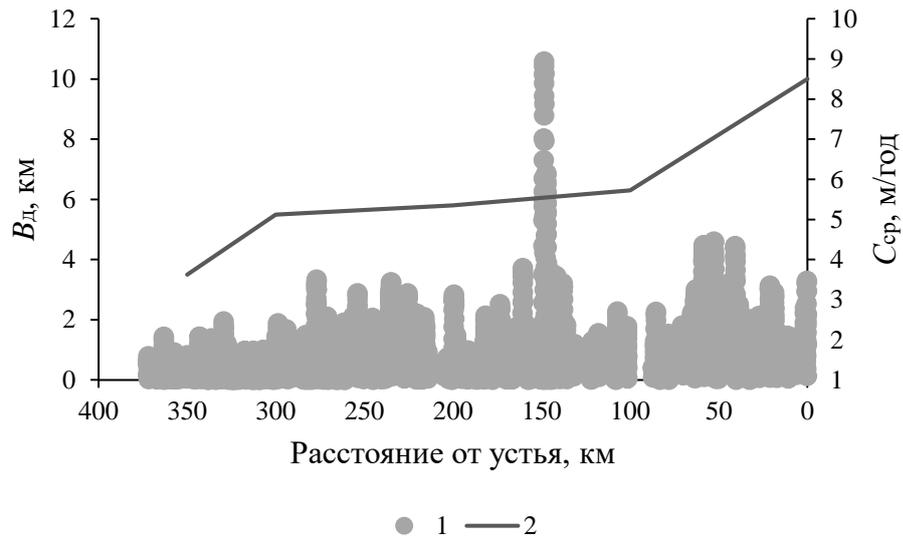
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине Кети



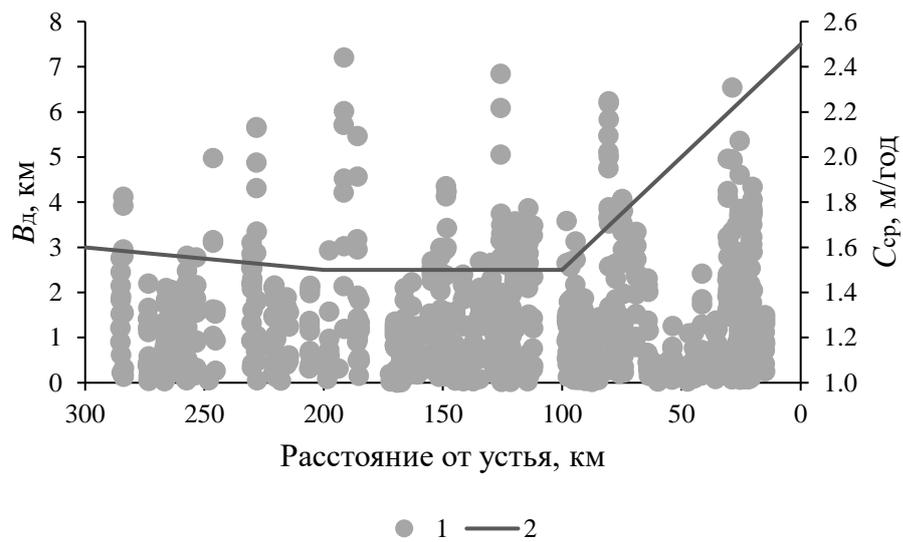
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине
Тыма



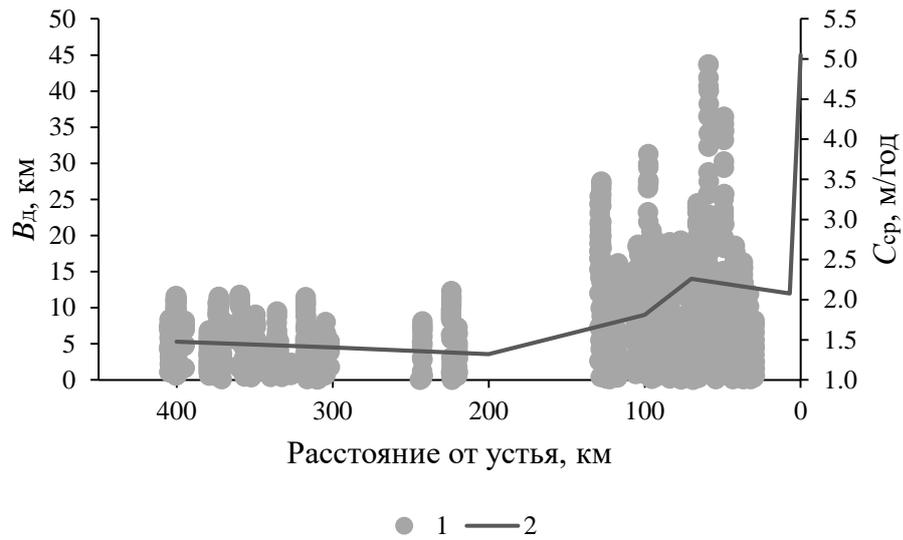
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине
Ваха



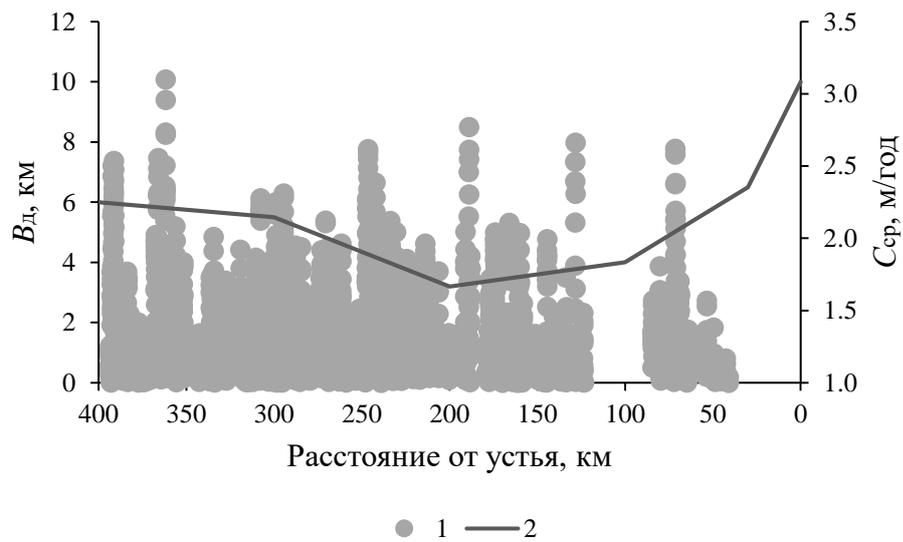
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины дна долины (2) по длине
Агана



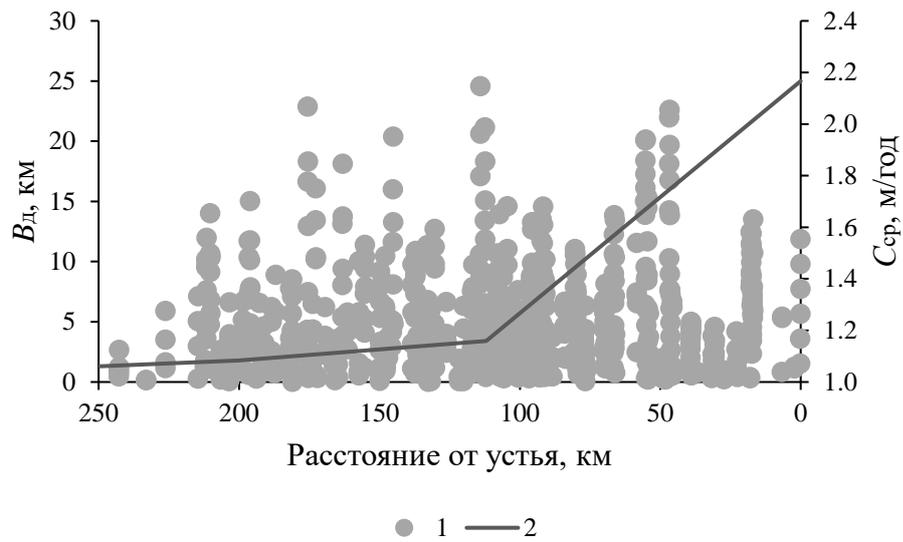
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины дна долины (2) по длине
Лямина



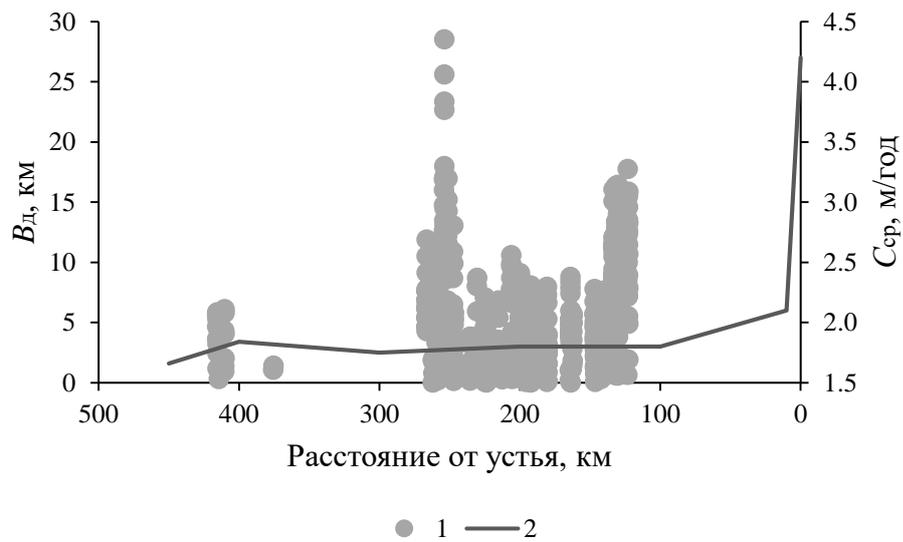
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине
Казыма



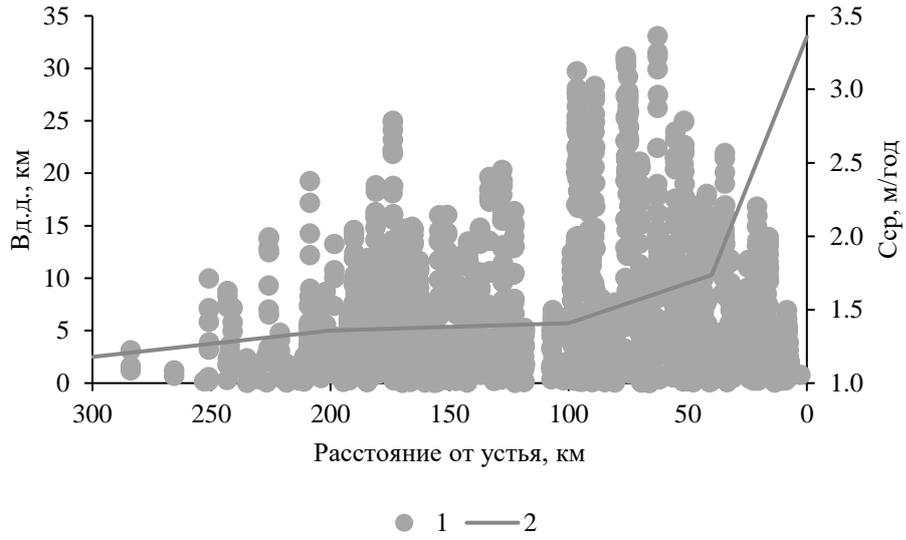
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине
Полюя



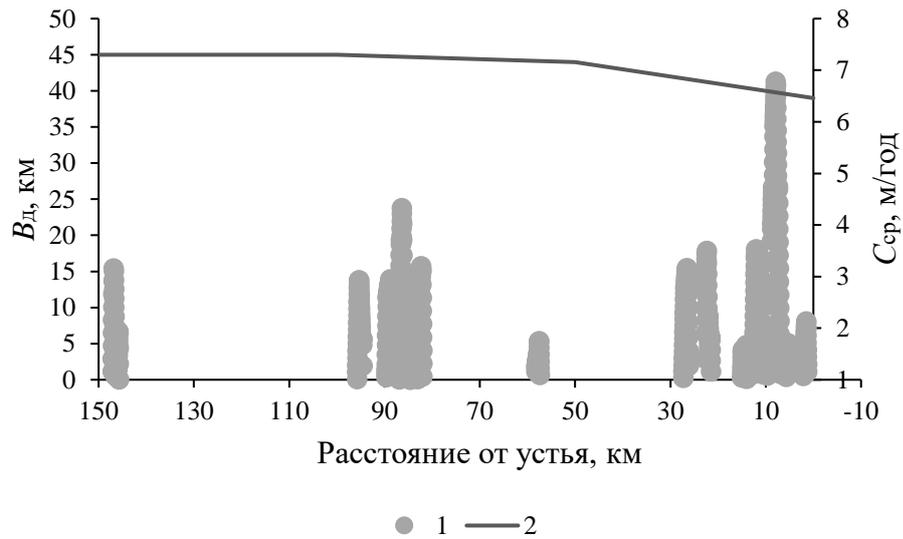
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине
Парабеля



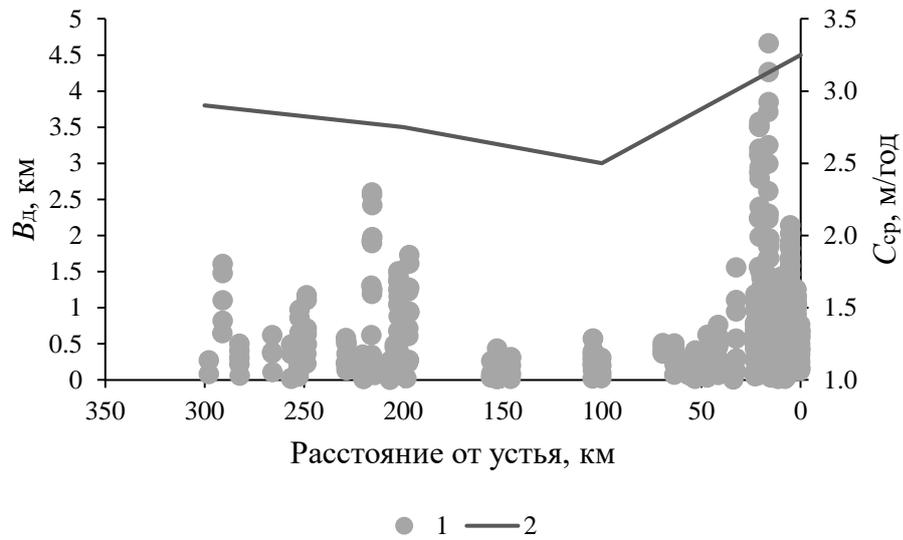
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине
Васюгана



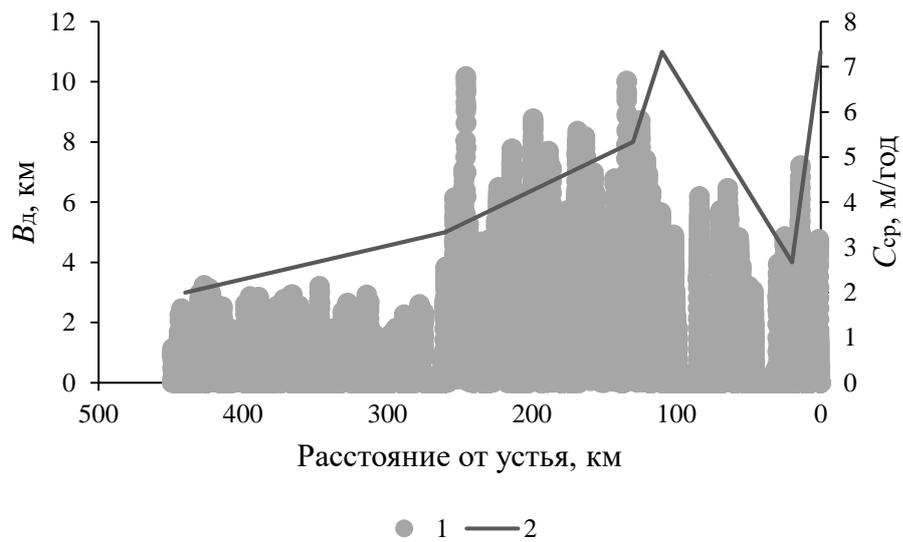
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине
Большого Югана



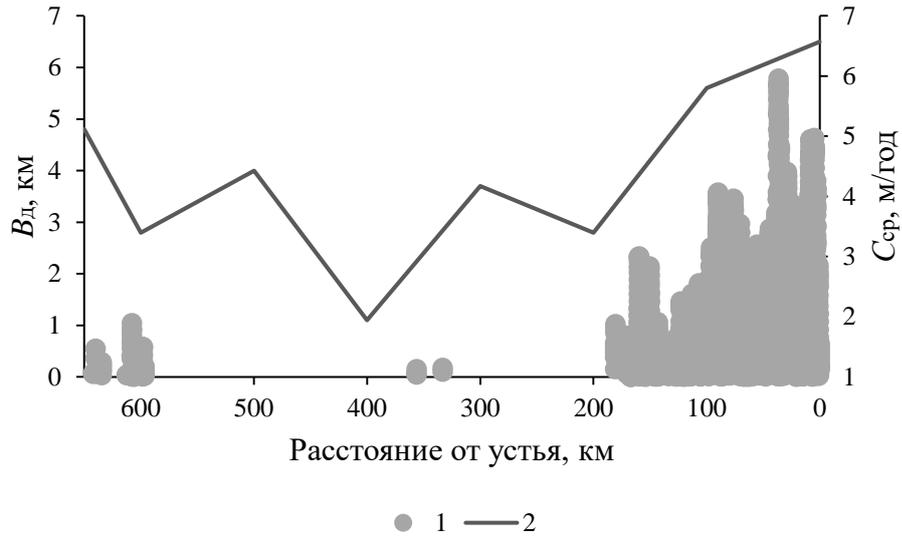
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине
Северной Сосьвы



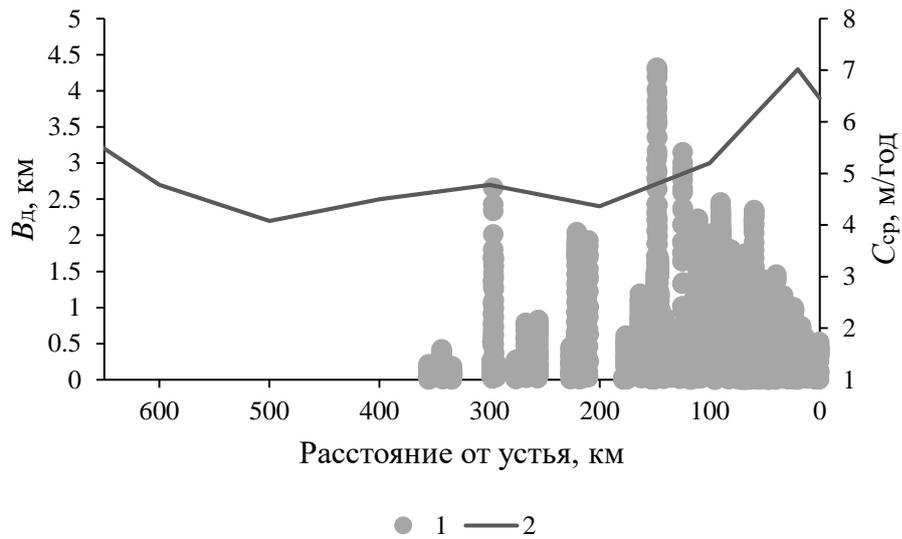
Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине Демьянки



Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине Тобола



Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине Туры



Изменение средней скорости размыва берегов (1) и ширины днища долины (2) по длине Тавды