

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Камышев Арсений Андреевич

**Гидроморфология и переформирования широкопойменных
русел больших равнинных рек (на примере Оби и Лены)**

1.6.16 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2022

Работа выполнена на кафедре гидрологии суши географического факультета ФГБОУ ВО
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Научный руководитель: *Чалов Роман Сергеевич доктор географических наук, профессор*

Официальные оппоненты: *Шмакова Марина Валентиновна, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института озераедения РАН – обособленного структурного подразделения Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН*

Зиновьев Александр Тимофеевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН

Морейдо Всеволод Михайлович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института водных проблем РАН

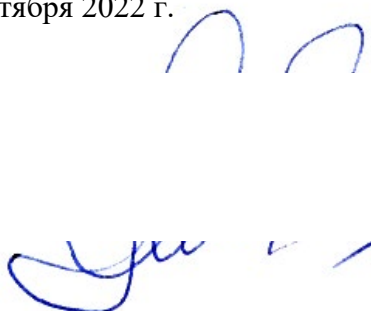
Защита диссертации состоится «22» декабря 2022 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета МГУ.016.2(МГУ.11.02) Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, ГЗ МГУ, географический факультет, 18 этаж, ауд. 18-01 (тел. +7(495)9392238, факс +7(495)9328836)

E-mail: Diss1102MSU@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: <http://istina.msu.ru/dissertations/494115828/>

Автореферат разослан «05» октября 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



А.В. Ольчев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Гидроморфология речных русел – составная часть учения о русловых процессах (русловедения), которая устанавливает количественные и корреляционные связи между морфологическими, морфометрическими и динамическими параметрами, характеризующими размеры и конфигурацию форм русла и форм руслового рельефа (излучин и разветвлений, перекатов, мезо- и макроформ грядового рельефа), поперечным сечением (шириной, глубиной, площадью), уклонами русла, скоростями русловых деформаций (размывом берегов, смещением излучин, островов, перекатов и побочней, темпами развития или обмеления рукавов и т.д.), с одной стороны, и гидравлическими характеристиками речных потоков, водностью рек и стоком наносов, с другой. Широкопойменные русла характеризуются свободными условиями развития русловых процессов с преобладанием динамических факторов стока воды и наносов над статическими геолого-геоморфологическими условиями, в которых они формируются. Большие и крупнейшие реки, в свою очередь, отличаются от малых и средних рек гидролого-морфологическими и гидроморфометрическими соотношениями, что определяется многократно бóльшим стоком воды, его увеличением по длине рек, влекущими за собой изменение параметров потока и форм русла, гидравлических характеристик потока. При этом для различных участков рек Оби и Лены в пределах широкопойменного русла свойственны существенные различия в морфологии и динамике русловых форм, что не может быть объяснено только увеличением водности рек по мере впадения притоков различного порядка. Многообразие географических условий и их изменчивость по длине рек сказывается на морфологии и динамике русел, способствует возникновению специфических проявлений русловых процессов. Все это обуславливает различия в гидролого-морфологических связях между участками русел на протяжении больших и крупнейших рек, формировании различных типов широкопойменного русла, русловом режиме рек и, как следствие, их учете при решении задач регулирования русел.

В настоящее время наблюдается существенный дисбаланс в изученности русловых процессов в пользу малых и средних рек, особенно в иностранной литературе. При этом имеющиеся исследования русловых процессов на крупнейших реках, которые в основном сосредоточены в МГУ имени М.В. Ломоносова, в основном ограничиваются отдельными, хотя и протяженными участками и не охватывают широкопойменные русла по всей их длине. При этом, если на р. Лене русловые процессы освещены в работах ученых МГУ достаточно полно, хотя и очень неравномерно по разным участкам, то р. Обь в этом отношении в среднем и особенно в нижнем течении, несмотря на ее большое

транспортное значение, практически представляет «белое пятно». Дефицит исследований при сложности и многообразии факторов русловых процессов на широкопойменных участках больших и крупнейших рек приводит к недостаточной обоснованности методов прогнозирования русловых процессов и низкой проработанности гидролого-морфологических связей, определяя, тем самым, актуальность исследований в рамках диссертации.

Развитие русловых процессов на больших и крупнейших реках происходит в различных природных условиях, которые изменяются по длине каждой реки, и значительно отличаются при сравнении рек между собой. Между тем на обеих реках с русловыми процессами связана масса воднотранспортных и водохозяйственных проблем экономического освоения Западной Сибири (р. Обь), в том числе ее нефтегазового комплекса, и Якутии и районов Северо-востока российской Арктики, для которых р. Лена сохраняет главную ведущую роль в обеспечении транспортных связей и северного завоза.

Объекты исследований – широкопойменные русла Оби по всей ее длине и Лены частично в среднем и нижнем течении, которые являются одними из крупнейших рек Мира. Площадь бассейна Оби составляет 2,99 млн. км², длина – 3650 км (протяженность широкопойменного русла – более 3500 км); бассейн р. Лены – 2,49 млн. км², при длине реки 4400 км (длина широкопойменного русла составляет около 1000 км [Реки и озера..., 2012]).

Цель исследования – гидролого-морфодинамический анализ широкопойменных русел рек Оби и Лены, оценка современного состояния русел и их пространственно-временной динамики (русловых деформаций) как методологической основы разработки методов и приемов управления русловыми процессами. Для достижения цели решаются следующие задачи:

- анализ ранее выполненных исследований по широкопойменным руслам больших и крупнейших рек, изучение литературных, картографических и архивных материалов по русловым процессам на Оби и Лене;
- обоснование качественных и количественных показателей, характеризующих морфологию широкопойменного русла (сложность разветвлений, количество рукавов и пойменных протоков, динамика изменений параметров морфологически однородных участков и т.д.), оценка условий формирования и режима деформаций русел разного морфодинамического типа;
- определение закономерностей рассредоточения стока в рукавах разветвлений и его расчет на основе модулей сопротивления с последующей верификацией результатов по натурным данным;

- установление связей между морфологическими параметрами русла, гидрологическими условиями и гидравлическими характеристиками потока, другими природными факторами;
- выявление условий и причин изменчивости морфодинамических типов русла по длине рек и анализ многолетних русловых деформаций;
- учет антропогенных воздействий на широкопойменные русла Оби и Лены и количественная оценка трансформаций русел под их влиянием;
- гидролого-морфологический анализ разветвлений и излучин.

Защищаемые положения:

1. Морфология русла р. Оби характеризуется уменьшением сложности разветвлений вниз по течению, для р. Лены наблюдается тренд на увеличение сложности разветвлений вниз по течению.
2. Формирование раздвоенного русла происходит при прохождении руслоформирующих расходов при затопленной пойме и многократном превышении ширины поймы над шириной русла. Извилистое русло и процессы меандрирования широко распространены на средней и нижней Оби; на Лене и верхней Оби (до устья р. Алея) излучины не выражены. В нижнем течении Оби формируется самый протяженный среди всех крупнейших рек Мира участок раздвоенного русла. Для Оби характерна пойменная разветвленность в среднем и нижнем течении, на Лене пойменные протоки не имеют широкого распространения.
3. Морфодинамические типы русел четко дифференцируются по величине значения критерия квазиоднородности потока И.Ф. Карасёва, наибольшие значения которого характерны для разветвлённых русел.
4. Для реки Лены наблюдается тенденция к трансформации разветвлений различных типов русловых разветвлений в параллельно-рукавные, что связано с увеличением водности реки.
5. Обосновано выделение в рамках учения о русловых процессах двух взаимосвязанных направлений - гидроморфологии и морфодинамики.

Фактический материал. В основу диссертации положены материалы экспедиционных исследований научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова на реках Оби и Лене, в которых автор принимал участие в период с 2014 по 2021 гг. Использовались разновременные лоцманские карты, регулярно издаваемые с начала XX века, съемки

русла, выполненные изыскательскими партиями районов водных путей, архивные материалы и научно-технические отчеты, топографические карты, космические снимки.

Методы исследования. Методологическую основу выполнения исследования составляют принципы географического изучения русловых процессов, разработанные в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов), заключающихся в оценке и учете природных и природно-антропогенных условий и механизмов руслоформирования на всех структурных уровнях проявлений русловых процессов, разработке методов и приемов управления русловыми процессами на основе закономерностей руслового режима рек. Реализация работы, получение гидролого-морфодинамических зависимостей и корреляционных связей, анализ существующей морфологической структуры русел опирается на:

1) результаты натурных исследований русловых процессов на всем протяжении широкопойменных русел рек Оби и Лены с применением новейших методов и аппаратуры (доплеровских измерителей скоростей течений, профилографов, электронных тахеометров, программно-аппаратных комплексов, объединяющих спутниковое позиционирование, современные эхолоты и компьютерную обработку информации, современных приборов для определения мутности потока);

2) методы построения корреляционных зависимостей между параметрами русла и показателями факторов русловых процессов; расчеты модулей сопротивления в рукавах разветвления;

3) применение новых методических подходов для оценки русловых деформаций, объединенных гидролого-морфодинамическим анализом, позволяющим оценивать изменения русел для различных географических районов в условиях изменяющейся природной среды.

Научная новизна. Анализ современного состояния изученности широкопойменных русел крупнейших рек показал, что, за редким исключением, большая часть исследований не охватывает широкопойменное русло больших и крупнейших рек на всем их протяжении, что обуславливает наличие "белых пятен" в гидроморфологии рек. При этом наблюдается существенная диспропорция научных публикаций в сторону малых и средних рек, это приводит к переносу полученных зависимостей и связей на крупнейшие реки, что при проверке ряда положений и гипотез не находит подтверждения на больших и особенно крупнейших реках. Сравнение широкопойменных русел больших и крупнейших рек в различных природных условиях практически не охвачено исследованиями, в связи с чем невозможно обоснованно выделять причины формирования различных морфодинамических типов русел и определять роль тех или

иных руслоформирующих факторов. В условиях изменяющихся природных условий под воздействием климатических изменений происходит увеличение стока воды на Лене и Оби, на Лене – изменению мерзлотных условий, что неминуемо сказывается на количественных и качественных характеристиках русла.

Постановка этой проблемы в рамках настоящего исследования, по существу, впервые, является принципиально новой, что обуславливает подчеркивает его актуальность. Реализация поставленных задач позволит закрыть "белые пятна" в учении о русловых процессах (русловедении) и его региональном направлении, создать фундаментальную основу для прогнозирования русловых процессов при решениях существующих на реках проблем.

Практическая значимость. Выполненная оценка состояния русла, распределения морфодинамических типов, их морфологии и динамики позволяет более обоснованно подходить к прогнозу русловых деформаций, т.к. каждый тип русла отражает преобладающую схему русловых деформаций.

Обь и Лена характеризуются большим количеством водохозяйственных и водотранспортных проблем, в первую очередь, связанных с речным транспортом. Выявленные закономерности гидроморфологии и русловой динамики позволяют разрабатывать научно обоснованные рекомендации по оптимизации судоходства, что особенно важно в условиях меняющейся природной среды.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на всероссийских и международных конференциях: «International Conference on the Status and Future of the World's Large Rivers» (3–6 августа 2021 г.), «Гришанинские чтения» (3–4 июня 2021 г.), «Маккавеевские чтения» (7 декабря 2020 г.); на молодежных семинарах, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ (2022 г, 2021 г, 2018 г.), V Всероссийская научная конференция с международным участием «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях» (3–6 сентября 2019 г.), конференция «Защита экосистем прибрежных территорий и развитие регионов» (Рыбинск, 23–26 октября 2017 г.), семинар кафедры гидрологии суши МГУ (2021 г.)

Результаты диссертационного исследования нашли отражение при выполнении проектов РНФ «Разветвления русел равнинных рек (многоорукавные русла): гидролого-морфодинамический анализ, гидрологические функции, временная трансформация, методы управления для обеспечения гидроэкологической безопасности» (№ 18-17-00086,

2018 – 2022 гг.), РФФИ «Гидроморфология и переформирования широкопойменных русел крупнейших равнинных рек (на примере Оби и Лены)» (№ 19-35-90101\19).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации 193 страницы, 102 рисунка, 21 таблица. Список литературы включает 136 источников.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи, охарактеризована научная новизна и практическая значимость исследования, описаны методика и фактический материал, использованный в работе, сформулирован предмет защиты, указаны сведения об апробации работы.

В **первой главе** представлены сведения о природных и антропогенных факторах, оказывающих влияние на формирование русел в пределах широкопойменных участков рек Лены и Оби. Приводятся сведения о физико-географическом положении рек.

Реки Обь и Лена относятся к крупнейшим рекам России и мира. Площадь бассейна р. Оби составляет 2,99 млн.км², ее длина – 3650 км, бассейн р. Лены имеет площадь 2,49 млн.км², длина составляет 4400 км [Реки и озера..., 2012]. Русло реки Оби на всем своем протяжении является широкопойменным, от слияния рек Бия и Катунь до устья. Длина широкопойменного участка Лены составляет 1000 км (23,5% от общей длины реки). Первый участок широкопойменного русла формируется в 50 км выше Жиганска и имеет протяженность около 20 км, второй участок начинается от г. Покровска и заканчивается у с. Жиганска.

Исследуемые реки характеризуются различными климатическими условиями. Для климата Ленского бассейна по сравнению с Обским характерны большие сезонные амплитуды температур, меньшее количество осадков. Ввиду меньшей протяженности широкопойменного русла р. Лены для нее характерна меньшая изменчивость климатических параметров и, соответственно, природных зон. Для р.Лены свойственно сплошное распространение многолетнемерзлых пород, на Оби мерзлота не выражена. Всё широкопойменное русло р. Лены располагается в зоне средней и северной тайги, граница между которыми проходит в 100 км ниже устья р. Вилюя. Обь протекает по различным природным зонам. После слияния рек Бии и Катунь и до г. Барнаула располагаются типичные степи, сменяющиеся ниже по течению лесостепью, которая простирается до г.Новосибирска, переходя в зону смешанных лесов (подтайги), которая сменяется тайгой (южной, средней и северной). В пределах таежной зоны располагается наиболее

протяженный участок р. Оби. Тайга простирается почти до г. Салехарда, где она переходит в лесотундру.

В главе приведены сведения о стоке воды. Водность р. Оби в пределах 3500 км широкопойменного участка возрастает в 12 раз. Это обусловлено увеличением площади водосбора от 97900 км² после слияния Бии и Катунь до 2990 тыс.км² к устью. Основные притоки р.Оби: Чумыш, Ануй, Чарыш, Алей, Томь, Чулым, Кеть, Тым, Вах, Тромъёган, Назым, Васюган, Иртыш, Казым, Полуй, Сев. Сосьва. Водность реки Лены в пределах широкопойменного русла (1000 км) увеличивается в 2,5-3 раза, то есть изменение водности на Лене многократно меньше, чем на Оби. Основные притоки р.Лены: Олёкма, Алдан, Вилуй. По водному режиму р. Обь и р. Лена относятся к рекам с весенним половодьем (Западно-Сибирский тип – Обь; Восточно-Сибирский тип - Лена).

Пойма Оби характеризуется наличием большого количества пойменных протоков в среднем и нижнем течении, на Лене и верхней Оби пойменные протоки практически не представлены. Максимальная ширина поймы Оби превышает 50 км в нижнем течении и ее отношение к ширине русла больше 1:10. Для Лены свойственна гораздо меньшая ширина поймы (до 30 км), при этом отношение ширины поймы к ширине русла практически нигде не превышает 1:2.

Реки Обь и Лена довольно сильно отличаются друг от друга условиями прохождения руслоформирующих расходов воды. На Лене наблюдается два их максимума: верхний нижний. Первый расход проходит в условиях затопленной поймы и соответствует расходам воды среднего половодья. Второй наблюдается в бровках поймы и соответствует спаду половодья и высоким уровням летне-осенних паводков [Русловой режим..., 1976]. Обь, частично в среднем и в верхнем течении, отличается от Лены, что проявляется в отсутствии верхнего Q_f [Чалов, 2008], который возникает только на широтном участке реки ниже впадения р. Кети и сохраняется до устья.

Соотношение крупности наносов и уклонов реки определяет устойчивость русел, для оценки которой использовались число Лохтина А. Для Оби характерно увеличение устойчивости русла вниз по течению. Наименьшим значением устойчивости характеризуется верхний участок: от слияния рек Бии и Катунь до г.Барнаула. Наиболее устойчивым является русло нижней и средней Оби, где минимальны уклоны водной поверхности. Для реки Лены характерна обратная ситуация по сравнению с Обь, на Лене напротив происходит уменьшение устойчивости русла вниз по течению.

Дана характеристика и классификация основных антропогенных воздействий на русла. В целом в виду большей хозяйственной освоенности и наличия крупного водохранилища русло Оби испытывает большую антропогенную нагрузку. Вдоль русла

Лены располагается гораздо меньше населенных пунктов и инфраструктурных объектов, что обуславливает незначительное влияние антропогенных факторов на развитие русла. Распределение хозяйственной деятельности по рекам также неравномерно. На Оби наибольшая нагрузка сконцентрирована в пределах Алтайского края и Новосибирской области, а также около городов Нижневартовск и Сургут (ХМАО). На Лене хозяйственная деятельность в основном сконцентрирована в районе г. Якутска и, в меньшей степени, около г. Покровска.

Во **второй главе** приводятся сведения о месте гидроморфологии в системе гидрологических наук и учениях о русловых процессах. Гидроморфология речных русел устанавливает количественные и корреляционные связи между морфологическими, морфометрическими и динамическими параметрами, характеризующими размеры и конфигурацию форм русла и форм руслового рельефа (излучин и разветвлений, перекатов, мезо- и макроформ грядового рельефа), поперечное сечение (ширину, глубину, площадь) и уклоны русла, скорости размыва берегов, смещения излучин, островов, перекатов и побочней, врезания / аккумуляции наносов, темпы развития / обмеления рукавов и т.д.) [Чалов, 2017], с одной стороны, и показателями водности, стока и крупности наносов, устойчивости русла и транспортирующей способности потока, руслоформирующими расходами, с другой, а также соотношения между ними и пространственно-временные изменения этих связей и соотношений. Таким образом, в гидроморфологии намечается четыре основных направления: гидролого-морфологическое (собственно гидроморфология русел), гидроморфометрическое (гидроморфометрия русел), морфометрическое (морфометрия русел) и гидролого-морфодинамическое (гидроморфодинамика русел).

Далее представлены сведения об истории исследований русловых процессов на Оби и Лене. Показаны различия в степени изученности рек. Показана неравномерность количества исследований, приходящихся на различные участки рек. В целом, чем севернее и ниже по течению находится участок, тем меньше его освоенность, а следовательно, освещенность в литературе. Показано отсутствие комплексных исследований, охватывающих гидроморфологию всего широкопойменного русла Оби и Лены.

В **третьей главе** дается характеристика основных существующих типизаций русел и выполняется оценка их применимости к широкопойменным руслам. В рамках исследования типизация русла производится по морфодинамической классификации речных русел, разработанной в МГУ [Чалов, 2008].

Реки Лена и Обь кардинальным образом различаются между собой по количеству морфологически однородных участков (на Оби более 200, на Лене менее 20).

Наиболее распространенным типом русла на верхней Оби является разветвленное, на средней – меандрирующее, на нижней – раздвоенное.

Для участка Оби от слияния Бии и Катунь преобладает параллельно-рукавное русло (45,5% длины участка). Ниже устья р. Чарыша и до устья р. Алей возрастает доля одиночных (36,9 %) и односторонних (41,5%) разветвлений. После устья р. Алей появляются излучины, среди которых преобладают свободные (39,7%), также значительна доля одиночных разветвлений (32,4%). От г. Барнаула и до г. Камня-на-Оби распространены разветвления (26,5%), прямолинейное русло (22,1%), свободные (16,5%) и прорванные (15,3) излучины. Ниже Новосибирской ГЭС и до устья р. Томи наибольшая доля русла приходится на прямолинейное (30,6%) и сопряженные разветвления (25,1). От устья р. Томи и до с. Соснино возрастает доля излучин (прорванные – 10,9%, свободные – 32%), а с учетом пойменно-руслowych разветвлений, рукава которых меандрируют, на меандрирующее русло приходится 50,9% длины участка (рис. 1).

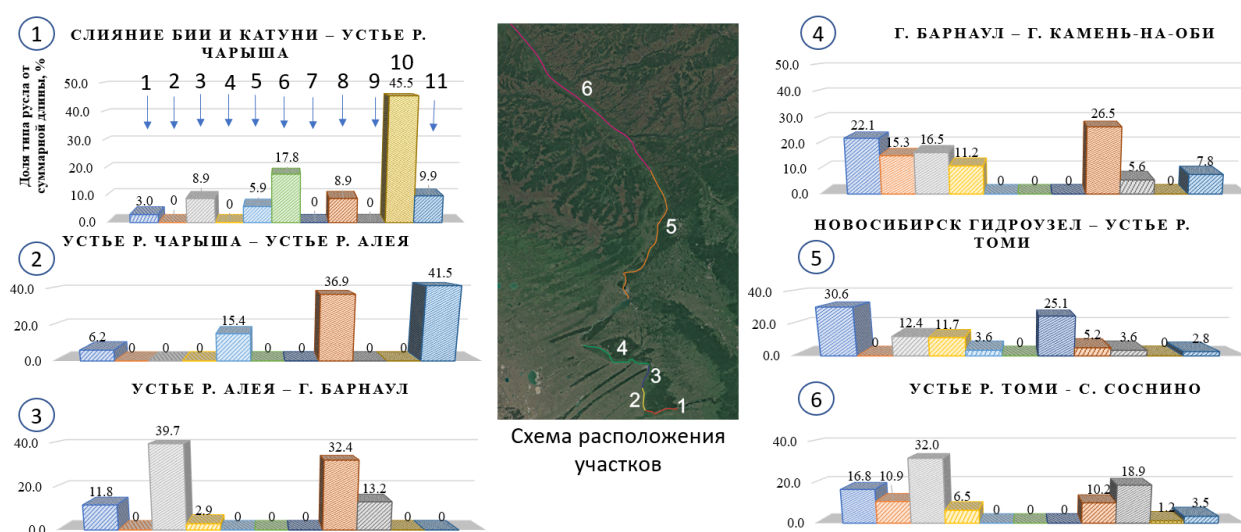


Рисунок 1 – Доли различных типов русла Оби на участке от слияния Бии и Катунь до с. Соснино. Типы русла: 1) прямолинейное, 2) прорванные излучины, 3) свободные излучины, 4) вынужденные излучины, 5) дельтовые разветвления, 6) чередующиеся односторонние разветвления, 7) сопряженные разветвления, 8) одиночные разветвления, 9) пойменно-руслowych разветвления, 10) параллельно-рукавные разветвления, 11) односторонние разветвления

На широтном участке реки от с. Соснино до р. Иртыша впервые формируется раздвоенное русло. В пределах основного рукава преобладают свободные излучины (43,7%). От устья р. Иртыша и до п. Перегребного русло реки представляет собой чередование одиночных (42,8%) разветвлений с прямолинейными (49,8%) вставками

между ними; также присутствует один параллельно-рукавный участок (6,4%) и одно дельтовое разветвление (0,9%) (рисунок 2).

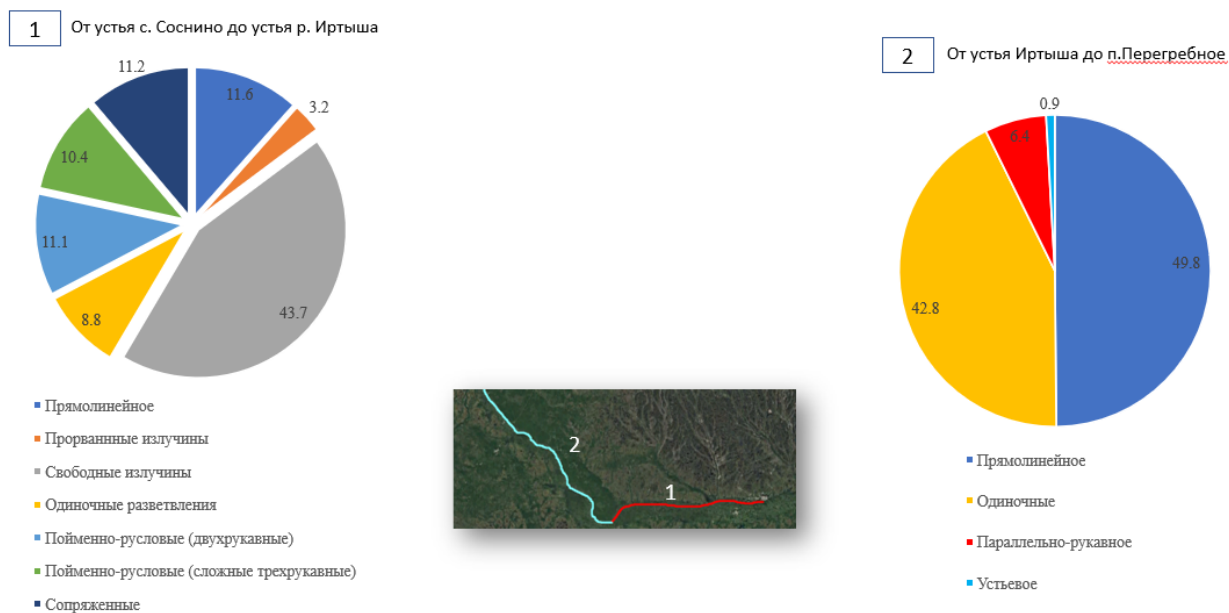


Рисунок 2 – Доли различных типов русла на Оби на участке от с. Соснино до п. Перегребного

После п. Перегребного река разделяется на 2 рукава: Горную Обь (Большая Обь после впадения пр-ки Большой Нюрик) и Малую Обь. Система раздвоенного русла сохраняется на протяжении 360 км (длина измерена по оси руслоформирования).

Подобная система раздвоенного русла имеет беспрецедентную длину и подобных морфологических масштабах не встречается ни на одной крупной реке.

Река Лена отличается сравнительной однородностью в динамике морфодинамических типов русла по длине реки. Извилистое русло не встречается в принципе. Больше половины всей длины широкопойменного русла приходится на параллельно-рукавное русло (58,3%). Следующим по распространенности типом русла является чередующееся-одностороннее (18,5%), на прямолинейное русло приходится 9,6% длины (рис. 3).

Рисунок 3 – Доли различных типов русла на Лене



Наибольшая схожесть по типам русла (преобладание параллельно-рукавного русла)

и по его морфологии (большое количество малых островов и отсутствие пойменных проток) наблюдается между верхней Обью (от слияния Бии и Катунь и до устья р. Чарыша) и широкопойменным руслом р. Лены.

Далее приводится характеристика особенностей рассредоточения стока воды в разветвлениях.

Реки Обь и Лена в значительной степени отличаются особенностями рассредоточения стока воды в разветвлениях. В первую очередь это обуславливается различиями в преобладающих морфодинамических типах русла, и значительной разницей в водности широкопойменных участков Оби и Лены. Для Лены, большую долю длины которой, занимают параллельно-рукавные разветвления, характерно наличие двух основных ветвей течения, разделенных группами островов, между которыми осуществляется сток воды. На Оби аналогичное распределение расходов воды характерно лишь для верхнего участка от слияния Бии и Катунь до устья р. Чарыша.

Влияние ведущего берега на Оби прослеживается на следующих участках: от устья Чарыша до с. Шелаболиха, в районе г. Камень-на-Оби, от устья р. Иртыша до п. Перегребного и в правом рукаве раздвоенного русла Горной Оби. На Лене влияние ведущего берега сказывается в районе Песчаной Горы, на участке ниже устья р. Алдана, от Белой Горы до Черпальского узла разветвления и в районе п. Жиганска. При этом ведущий берег на р. Лене оказывает гораздо меньшее влияние на морфологию русла, а следовательно, и рассредоточение стока, чем на Оби. Схожие черты в рассредоточении стока между Обскими участками реки с ведущим берегом имеется только с участком в районе п. Жиганска, где преобладают односторонние разветвления. При этом на Оби более развиты оползневые процессы на коренных берегах, которые в верхнем ее течении способны приводить к перекрытию части русла и отклонению основного течения в пойменные рукава. На Лене из-за сплошного развития многолетнемерзлых пород крупные оползни не наблюдаются.

На средней и нижней Оби встречается большое количество пойменных проток (ниже устья Кети), количество которых возрастает вниз по течению. Они играют важную роль в рассредоточении стока воды по пойме, отдельные пойменные протоки на средней Оби забирают в себя до 20% стока. На нижней Оби пойменная многорукавность трансформируется в раздвоенное русло – высшую иерархическую ступень разветвленности. На Лене протяженные пойменные протоки выражены в гораздо меньшей степени. Их наличие связано с заторными явлениями, которые приводят к отклонению потока на пойму и разработке на ней маловодных проток. Соответственно роль пойменных проток в распределении воды по пойме на Лене многократно меньше, чем на средней и нижней Оби.

Ввиду того, что на Лене процессы меандрирования не выражены, отмечается отсутствие спрямляющих проток, развитие которых на Оби в отдельных случаях приводит к кардинальным перестроениям рассредоточения стока.

В **четвертой главе** выполнен гидролого-морфологический анализ излучин (выполнен только для р. Оби, т.к. на Лене излучины отсутствуют), разветвлений, а также произведен расчет критерия квазиоднородности потока (критерий Карасева) для различных морфодинамических типов русла.

Гидролого-морфологический анализ излучин верхней и средней Оби выполнен посредством поиска связи между параметрами излучин и водностью, рассчитывался порядок реки по А. Шейдеггеру в модификации Н.А. Алексеевского [1998], т.к. этот параметр является эквивалентом водоносности.

Порядок реки рассчитывался по уравнению $N=1+\log_2 P$, где P – число рек с длиной менее 10 км в бассейне реки. Количество рек длиной менее 10 км определялось по данным «Гидрологической изученности». Порядок реки был определен для всех излучин, для этого он изначально рассчитывался для мест впадения притоков, затем суммарное количество рек длиной менее 10 км, впадающих непосредственно в Обь на данном участке, распределялось пропорционально длине данного участка. Таким образом для каждого километра, а соответственно и для каждой излучины, от слияния Бии и Катунь до границы Томской области с ХМАО был определен порядок реки. Для излучин, расположенных в пойменно-русловых разветвлениях, порядок рассчитывался пропорционально доле расхода Q_i , приходящейся на рукава: $N=1+\log_2(P*Q_i)$. Для участка реки ниже по течению данная зависимость не рассчитывалась, ввиду малого прироста порядка реки до устья р. Иртыша (рис. 4) и отсутствия излучин на неразветвленных участках ниже устья р. Иртыша.

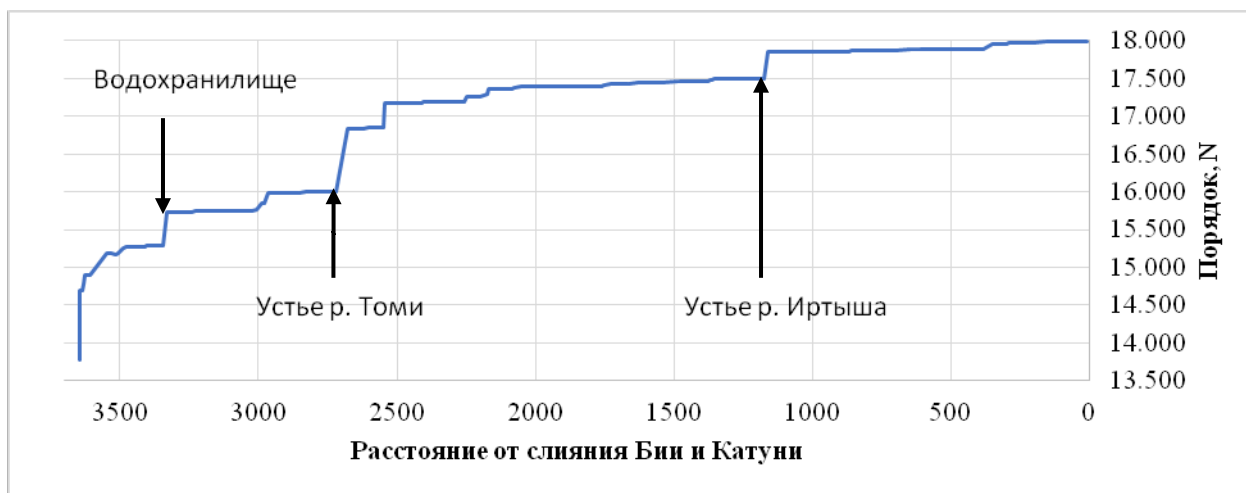


Рисунок 4 – Изменение порядка Оби

Увеличение водности реки и её порядка N на верхней и средней Оби обуславливает такое же изменение параметров излучин (рис. 5,А,Б).

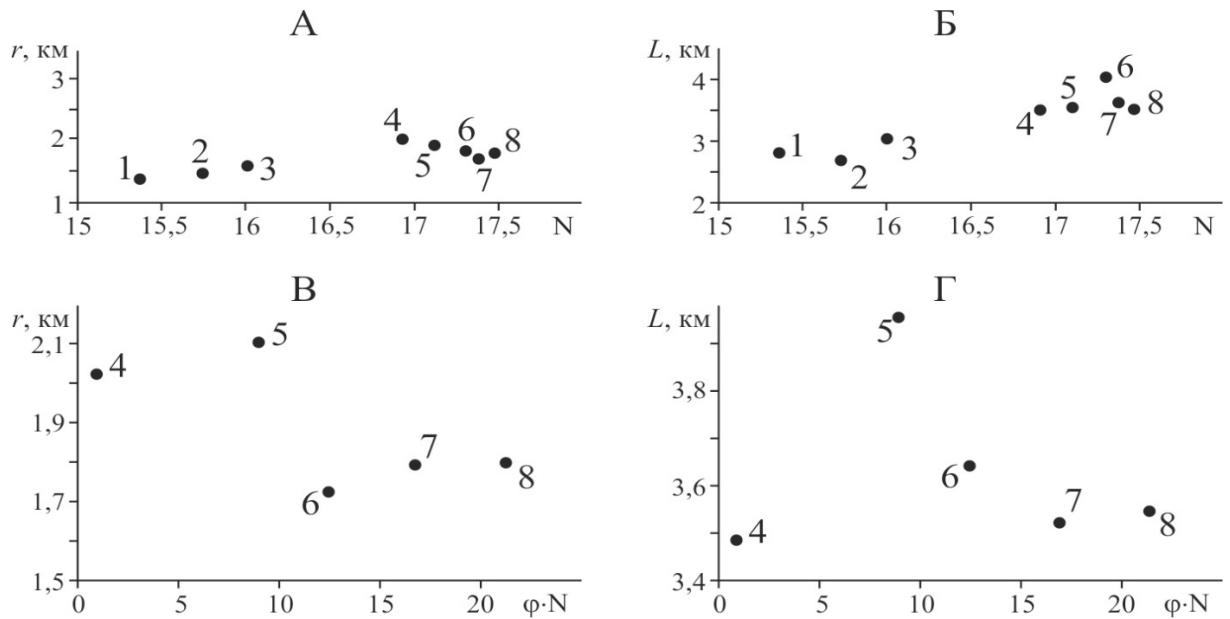


Рисунок 5 – Связь радиусов кривизны r (А) и шагов излучин L с порядком реки N (Б) для верхней (точки 1-3, среднеарифметические для участков с излучинами) и средней Оби (точки 4-8, модальные значения) и показателем φN (В, Г) [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018]

Зависимости $r(L) \sim N$ разделяются на две ветви, из которых первая соответствует верхней Оби (точки 1, 2, 3) и участку средней Оби от слияния с р. Томью до устья р. Чулыма (точка 4). Ниже устья р. Томи значительно большая ширина поймы и, соответственно, большой отток воды в периоды половодья в её пределы при прохождении в это время Q_{ϕ} верхнего интервала и меньшая водность руслового потока в многоводную фазу режима проявляется в обратной зависимости модальных значений параметров излучин (радиусов кривизны r и шагов L) на бесприточных участках от порядка реки N (точки 4-8 на рис. 5,Б): для r на всём протяжении средней Оби (устье р. Томи–с. Соснино), для L – на участках ниже устья р. Кети (6-8 на рис. 5,Б), что не соответствует общепринятым представлениям. Правда, было установлено, что на крупнейших реках параметры излучин не зависят от характерных (среднемаксимальных, руслоформирующих) расходов воды [Чалов и др., 2004]. Роль разливов реки по широкой пойме в формировании излучин проявляется, если порядок реки умножить на коэффициент $\varphi = \frac{\Sigma l_{\text{отв}}}{l_p}$. Для верхней Оби данный коэффициент не применим ввиду почти полного отсутствия пойменных протоков. Для r (рис. 5,В) зависимость становится прямой, дифференцируясь на две ветви – выше (точки 4 и 5) и ниже (точки 6-8) устья р. Кети (г. Колпашево). Очевидно, это связано с различными условиями прохождения

руслоформирующих расходов воды Q_{ϕ} : выше устья Кети, несмотря на широкую затопленную пойму, пойменная многорукавность развита слабо и Q_{ϕ} проходят в её бровках; ниже по течению Q_{ϕ} верхнего интервала соответствует затопленной пойме. Для L (рис. 5,Г) зависимость от φN прямая для реки выше и сохраняется обратной – ниже устья Кети [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Параметры излучин r и L связаны между собой (рис. 6,А). Однако при увеличении радиусов кривизны ($r > 2,5$ км) дисперсия существенно возрастает, и при $r = 8,5$ км, величина L может различаться в 2-2,5 раза, определяясь, по-видимому, формой излучины. Между степенью развитости излучин l/L и показателем их формы $r/h_{и}$ (здесь $h_{и}$ – стрела прогиба излучин) прослеживается обратная экспоненциальная зависимость (рис. 6,Б), однако она ограничивается пределами $l/L=2$ и $r/h_{и}=2,5$, выше которых коэффициент формы или степень развитости излучин остаются неизменными. Первый случай характерен для крутых петлеобразных излучин, второй – для пологих сегментных. В то же время анализ графиков связи параметров излучин (r , l/L) от порядка реки зависимости не выявляет, что объясняется большим разнообразием форм излучин, находящихся на разных стадиях развития: наблюдается только общий рост верхней обгибающей точек [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

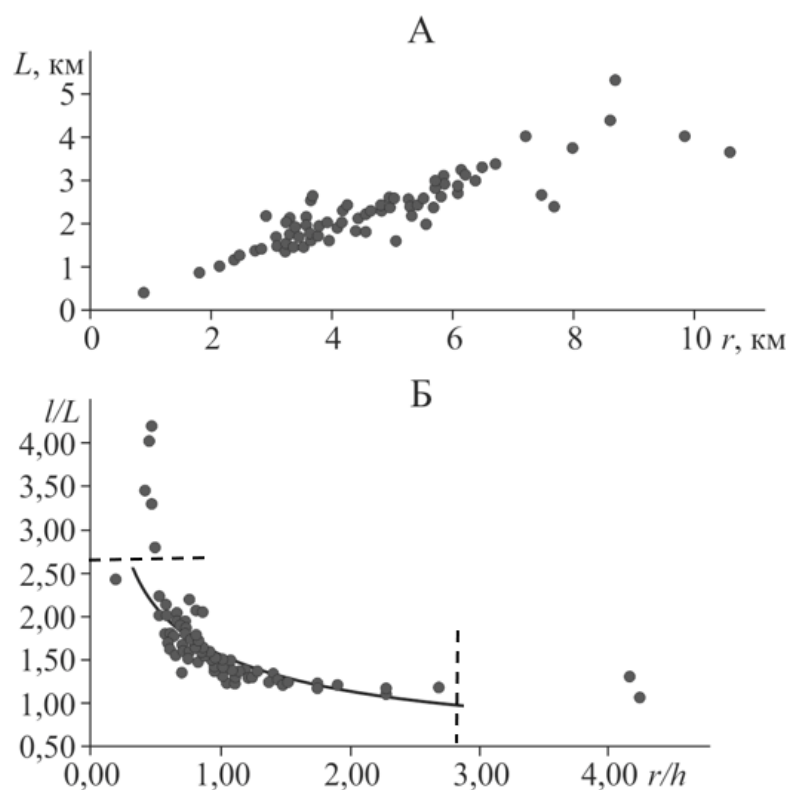


Рисунок 6 – Соотношение между морфологическими параметрами излучин Оби: А – шагом L и радиусом кривизны r ; Б – степенью развитости l/L и показателем формы $r/h_{и}$ [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018]

Анализ излучин русла, основных рукавов раздвоенного русла и рукавов разветвлений из-за изменения гидрологических и в целом природных условий и, как следствие, руслового режима по длине реки, не позволяют экстраполировать на него полученные результаты по средней Оби от устья р. Томи до границы ХМАО. Увеличение порядка реки и ее водности на широтном участке незначительно, что делает нецелесообразным его разделение на отрезки по местам впадения основных притоков. Поэтому анализ излучин осуществлялся для всей средней Оби на широтном участке с учетом ответвления рукавов раздвоенного русла [Чалов, Камышев и др., 2021].

Параметры излучин – шаг радиус кривизны и степень развитости были подвергнуты статистической обработке для определения функций их распределения и эмпирических кривых обеспеченностей. Для этого все излучины Оби основного правого рукава раздвоенного русла и излучины рукавов разветвлений были сгруппированы в ряды и ранжированы по значениям параметров, соответствующих типам излучин по степени их развитости [Чалов, Камышев и др., 2021]. Для каждого интервала были определены частота m_i (количество излучин, приходящихся на i -й интервал) и доля излучин, приходящихся на i -м интервале в суммарном количестве излучин m_i/n . Полученные значения представлены в виде гистограмм (рис. 7), характеризующих распределение излучин по интервалам, и эмпирических кривых распределения.

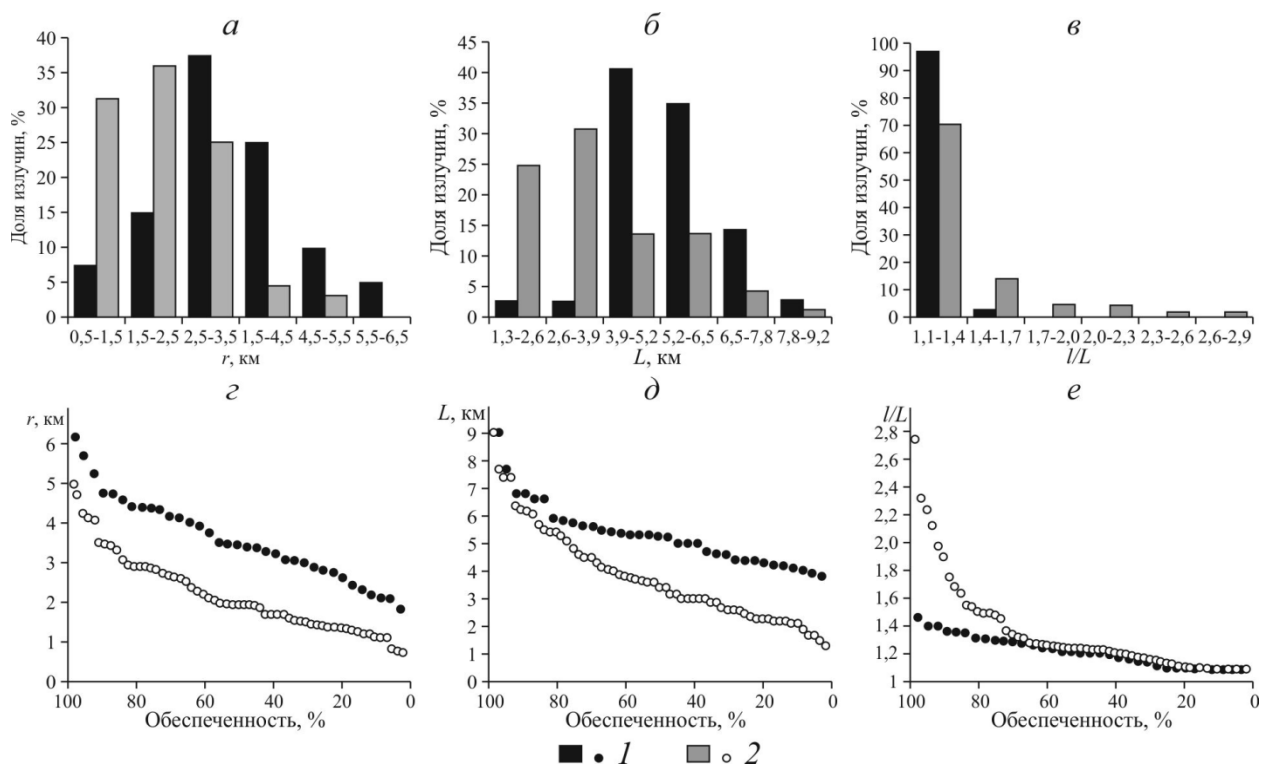


Рисунок 7 – Гистограммы встречаемости и эмпирические кривые обеспеченностей параметров излучин (радиус кривизны – а,г; шаг – б,д; степень развитости – в,е) излучин единого и раздвоенного русла (1) и излучин разветвленного русла (2) [Чалов, Камышев и др., 2021]

Кривая, огибающая гистограммы, дает график плотности распределения. Для радиусов кривизны и шагов излучин русловых разветвлений характерна асимметричная форма распределения со смещением влево, тогда как для излучин неразветвленного русла и рукавов раздвоенного русла она практически симметричная. В то же время распределение всех излучин по степени развитости показывает абсолютное преобладание пологих излучин ($l/L < 1,4$).

Анализ излучин в разветвленном русле нижней Оби. Для всех разновидностей излучин определялись L – шаг, l – длина по руслу, r – радиус кривизны, l/L – степень развитости. Для каждого морфологически однородного участка получены характерные значения r , L и l/L излучин, определены минимальные, средние и максимальные значения параметров (табл. 1). Для основных рукавов раздвоенного русла (Малая Обь, Горная Обь, Тоготская Обь) выполнен анализ изменений параметров по длине с учётом изменений их водности вследствие рассредоточения стока и распределения его в одиночных разветвлениях [Чалов, Завадский, Камышев и др., 2021].

Таблица 1. Значения параметров L , r и l/L излучин рукавов раздвоенного русла, излучин рукавов русловых разветвлений и прорванных излучин [Чалов, Камышев и др., 2021]

Параметры излучин (изгибов)	Максимальное	Среднее	Минимальное
Устье р. Иртыша – п. Перегребное			
Шаг, L , км	16,3	8,33	2,80
Радиус кривизны, r , км	8,50	4,33	2,10
Степень развитости, l/L	1,21	1,18	1,15
Малая Обь (участок 1М)			
Шаг, L , км	8,30	6,08	3,10
Радиус кривизны, r , км	4,40	2,90	1,60
Степень развитости, l/L	1,49	1,28	1,17
Малая Обь (участок 2М)			
Шаг, L , км	7,40	4,52	3,00
Радиус кривизны, r , км	3,75	2,06	1,40
Степень развитости, l/L	1,97	1,39	1,16
Горная Обь (участок 1Г)			
Шаг, L , км	7,40	5,96	2,90
Радиус кривизны, r , км	3,50	2,63	1,00
Степень развитости, l/L	2,50	1,58	1,19
Горная Обь (участок 2Г)			
Шаг, L , км	6,60	4,34	1,20
Радиус кривизны, r , км	3,20	1,97	0,50
Степень развитости, l/L	1,65	1,47	1,21
Горная Обь (участок 3Г)			
Шаг, L , км	5,70	4,26	2,80
Радиус кривизны, r , км	2,80	2,14	1,20
Степень развитости, l/L	1,76	1,50	1,16
Тоготская Обь			
Шаг, L , км	4,80	2,55	1,20
Радиус кривизны, r , км	2,50	1,14	0,60
Степень развитости, l/L	2,50	1,71	1,19

Гидролого-морфологический анализ разветвлений. Разветвления на рукава – основной тип русла, характерны для больших и крупнейших рек. В настоящей работе в качестве ключевого параметра, характеризующего сложность разветвления, было выбрано отношение количества островов к длине участка – n_0/l [Алексеевский, Чалов, 2009], так как именно данный показатель позволяет в максимальной степени охарактеризовать разветвление, а также позволяет сравнивать их между собой. Всего для Оби и Лены было выделено более 150 участков, для каждого из которых осуществлен соответствующий расчет. Полученная картина (рис. 8 и 9) показывает широкую дифференциацию данного параметра как по длине рек, так и по типам русла.

На Оби наблюдается экспоненциальное снижение сложности разветвлений по длине Оби, что объясняется в первую очередь увеличением устойчивости русла.

Для р. Лены свойственен квазиравномерный рост сложности разветвлений, что обусловлено снижением устойчивости.

Разница в величинах сложности разветвлений связана изменениями водности реки, которая определяет средний размер островов: при увеличении среднегодового расхода воды возрастает средний размер островов [Голубцов, Чалов, 2020], соответственно их количество на единицу длины реки сокращается, что приводит к уменьшению сложности разветвлений. Водность реки с параллельно-рукавными разветвлениями (верхнего течения Оби) по сравнению со сходной по морфологии параллельно-рукавных разветвлений средней и нижней Леной меньше в 7-8 раз. Соответственно при введении поправочных коэффициентов на водность сложность разветвлений Лены становится сопоставима или больше на 50%, чем сложность разветвлений верхней Оби на верхнем участке Оби.

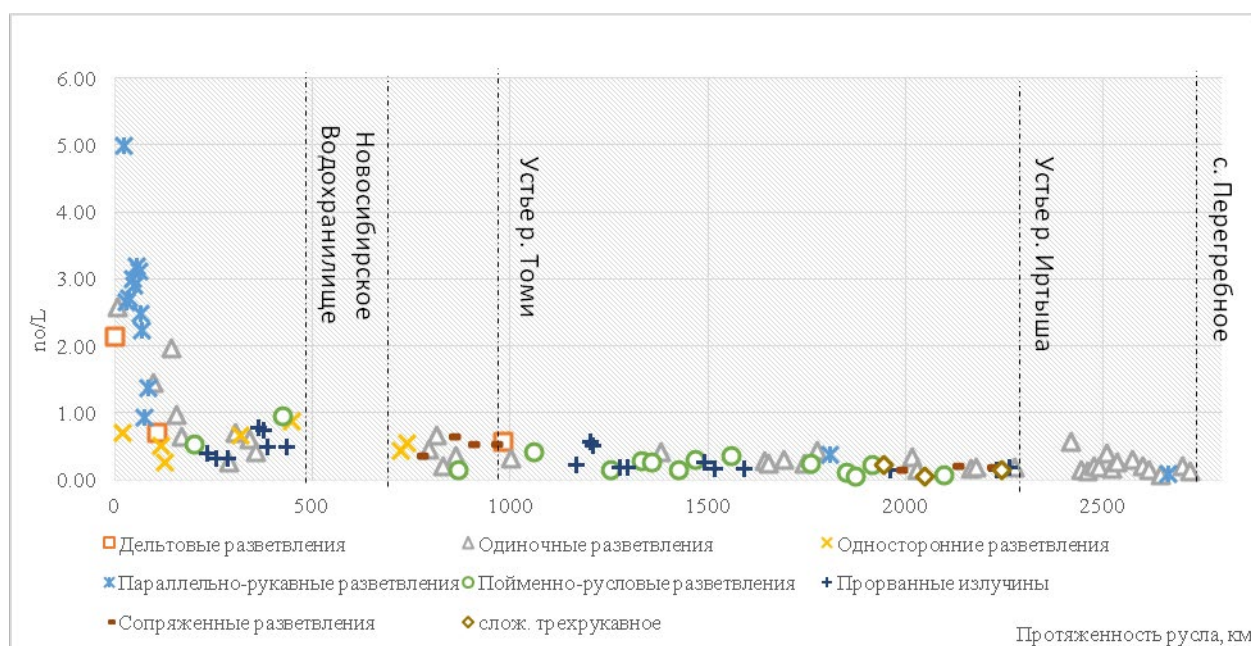


Рисунок 8 – Изменение степени сложности разветвлений русла n_0/l по длине Оби до участка раздвоенного русла в районе с. Перегревного

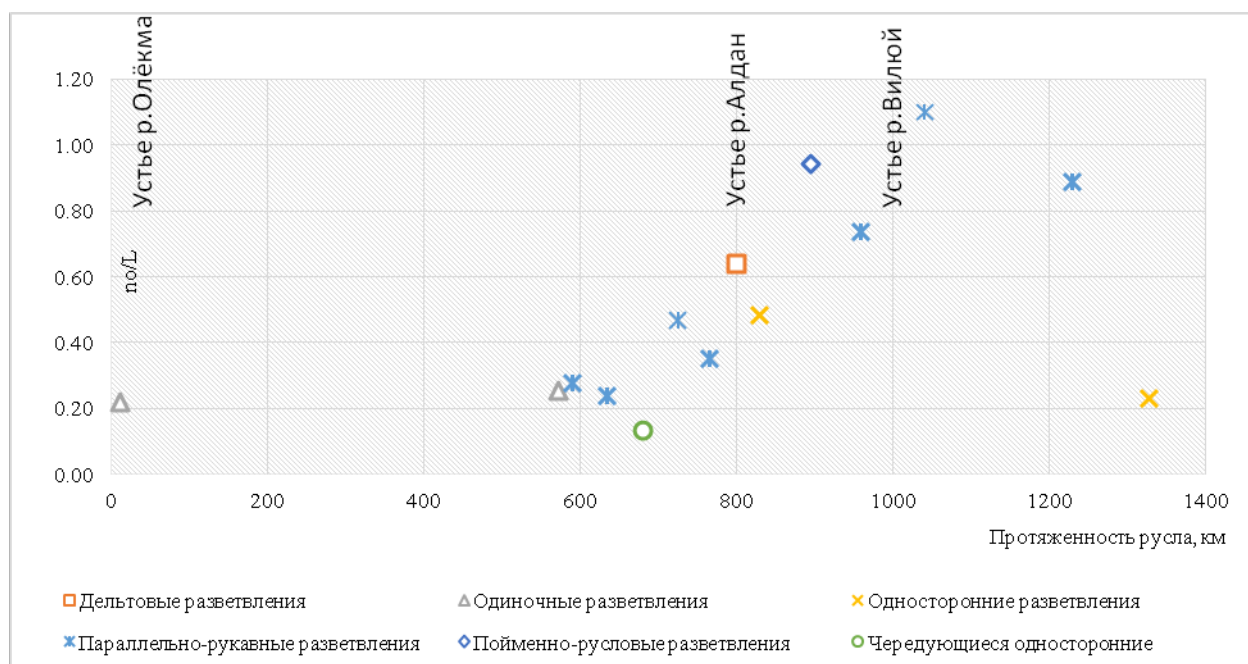


Рисунок 9 – Изменение степени сложности разветвлений русла n_0/l по длине Лены

Для всех разветвлений, а также для других типов русла была определена ширина русла (без островов) и суммарная ширина русла (с островами). Максимальная ширина русла (без островов, в пойменных бровках) Оби соответствует неустойчивому разветвлённому руслу непосредственно ниже слияния Бии и Катунь – 2,6 км и пойменно-русовым разветвлениям средней Оби (сумма ширин обоих рукавов) – 2,45-2,51 км. На Лене максимальные значения ширины русла свойственны участку реки ниже устья р. Вилуя (от 6 км до 8 км). Суммарная ширина русла (вместе с островами) для Оби наибольшая в пойменно-русовых разветвлениях средней и нижней Оби (от 4,3 до 7,5 км); для Лены она приурочена к параллельно-рукавному руслу в нижнем течении (от 12 км до 16 км). При этом на верхней Оби, в отличие от р. Лены, прослеживается общий тренд уменьшения ширины русла вниз по течению практически при любом типе русла, что соответствует увеличению устойчивости и упрощению морфологии русла, выраженной в величине коэффициента n_0/l ; на средней Оби – тренд роста ширины русла отражает увеличение водоносности реки, причём зависимость $b_p = f(Q)$ в обоих случаях достаточно отчётливо дифференцируется по типам русла. Аномальная ширина русла на первых 100 км ниже слияния Бии и Катунь обусловлена очень низкими значениями устойчивости русла (русло здесь неустойчивое). На Лене изменения (но и их изменения незначительны) ширины не дифференцируется по типам русла и довольно устойчивы по длине реки.

Минимальные значения ширин русла р. Оби соответствуют прямолинейным участкам и излучинам (без учета прорванных). При этом ширина прямолинейного русла разделяется на две ветви (рис. 10). Верхняя из них соответствуют участкам русла с

осередковой разветвленностью, нижняя – руслу, не осложненному островной или осередковой разветвленностью. На Лене все участки прямолинейного русла осложнены осередками или малыми и элементарными островами, не формирующими отдельного морфодинамического типа и создающими разветвления 2-го порядка. В результате ширина прямолинейного русла р. Лены может превышать ширину отдельных участков разветвлений.

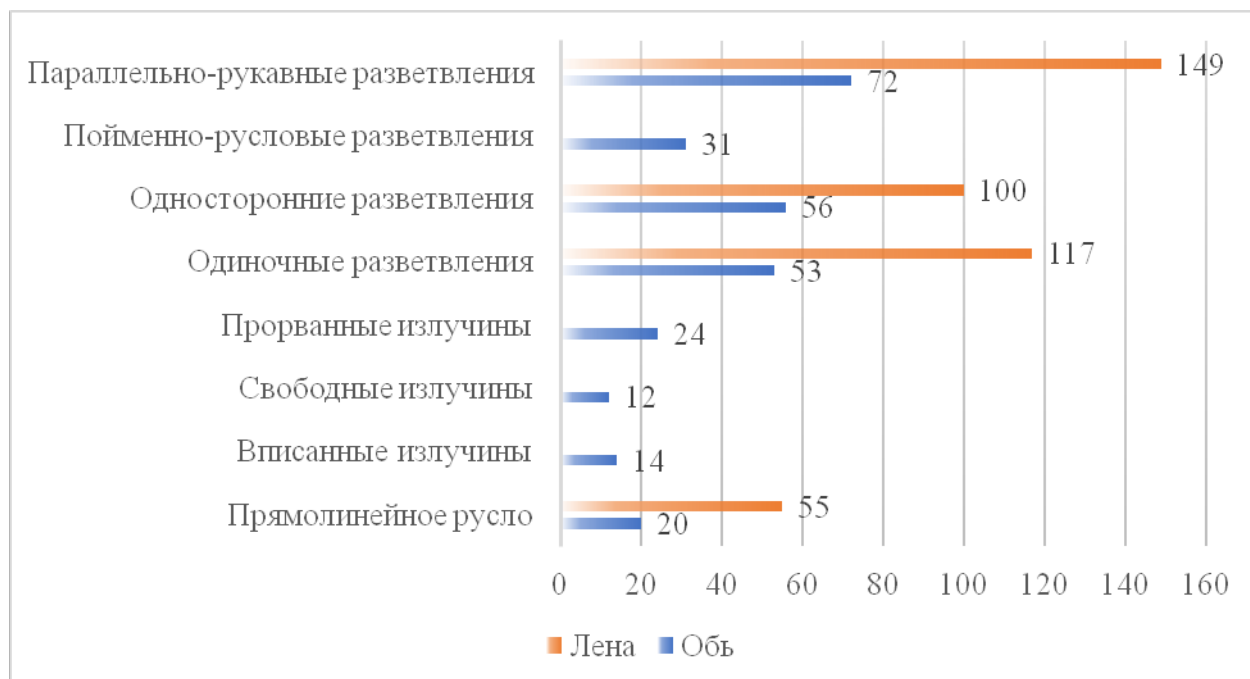


Рисунок 10 – Сравнение значений критерия Карасева на р. Лене и р. Оби

Особого внимания для оценки условий развития русел разного морфодинамического типа и типов разветвлений заслуживает критерий квазиоднородности кинематической структуры потока Θ , который предложил И.Ф. Карасев [1975]:

$$\Theta = \frac{b_p}{h} \sqrt{\frac{2g}{c^2}}$$

где b_p – ширина русла, h – глубина русла, g – ускорение свободного падения, c – коэффициент Шези.

Предложенный И.Ф. Карасевым коэффициент Θ основывается на различиях в структуре и динамике потока, обусловленных различиями в форме поперечного сечения русла и шероховатости. Соотношение b_p к h называется полнотой поперечного сечения, ее численное значение определяет условия развития поперечной циркуляции. На изгибах русла, где отношение b_p к h близко к единице, образуется винтообразное течение (на малых реках). В руслах, где отношение b_p к h много больше единицы, наблюдается расхождение направлений донных и поверхностных струй или же разделение потока на

две и более динамические оси. В результате формируются осередковые или островные разветвления, определяющие морфологическую сложность русла. На основе лабораторных опытов И.Ф. Карасев установил, что при значениях критерия больше 9,5 в потоке формируется 2 или более динамической оси, между ними наблюдаются зоны с замедленным течением, что способствует отложению наносов посередине русла и формированию разветвленности.

Определение критерия И.Ф. Карасева осуществлялось на морфологически однородных участках рек, соответствующих тем или иным морфодинамическим типам русла. Река Лена рассматривалась в пределах всего широкопойменного русла, Обь до участка раздвоенного русла (до п. Перегрёбного).

Наибольшие значения критерия соответствуют параллельно-рукавным разветвлениям – 72, для которых свойственна наибольшая морфологическая сложность и минимальная устойчивость русла. Высокие значения характерны для односторонних и одиночных разветвлений – 56 и 53, соответственно. Для остальных типов русла значения критерия значительно ниже: 31 – для пойменно-руслых разветвлений, 24 – для прорванных излучин, 20 – для прямолинейного русла, 14 – для вписанных излучин и 12 – для свободных излучин. Таким образом, можно утверждать, что происходит четкая дифференциация русла по данному показателю на разветвленное и остальные типы [Камышев, 2018].

Сравнение полученных с приведенными И.Ф. Карасевым граничными параметрами (9,5, то есть наличие нескольких динамических осей потока) позволяет утверждать, что на крупнейших реках формирование русел всех типов происходит при значениях критерия, кратно больших, чем полученных теоретически, в лабораторных условиях и на малых реках. При этом диапазон критерия только для излучин варьирует от 2,93 до 40,7, причем высокие значения параметра характерны только у 5 излучин, на которых имеются вторичные разветвления и осередки.

На реке Лене наблюдается тренд на увеличение значений критерия Карасева для участков разветвлённого русла вниз по течению вплоть до Черпальского разбоя, затем значения сокращаются. Это хорошо соотносится со сложностью разветвлений с высокой степенью корреляции, значение которой составляет 0,83.

Наибольшие значения критерия Карасева характерны для параллельно-рукавного русла (в среднем – 149, максимум 195). Минимальные значения критерия наблюдаются на относительно прямолинейных участках (от 33 до 75).

Сравнение усредненных значений критерия Карасева на реках Обь и Лена (рис. 10) показало, что для Лены свойственны гораздо большие значения, что соответствует большей водоносности реки.

Сравнение усредненных значений критерия Карасева на реках Обь и Лена (рис. 10) показало, что для Лены свойственны гораздо большие значения, что соответствует большей водоносности реки.

Таким образом, величина критерия Карасева четко дифференцируется по типам русла и позволяет оценивать тенденции изменения русла при изменении его морфологических характеристик.

В **пятой главе** приведены сведения о многолетних русловых переформированиях. Анализ русловых деформаций производился на основе сопоставления лоцманских карт, изданных в различные годы, и разновременных космических снимков. В ходе анализа определялись изменения размеров островов и отмелей, смещение крупных побочней, увеличение или уменьшение водности рукавов, изменение положения судового хода, обмеления русла, анализировалась динамика излучин

Морфологическая структура русла определяет особенности переформирований на реках, их схожесть и различия. Верхний участок Оби (до устья р. Чарыша) является наиболее аналогичным участком по отношению к р. Лене (в пределах параллельно рукавного русла) как в морфологическом плане, так и по характеру русловых переформирований.

Спряжения излучин и размывы вогнутых берегов наблюдаются только на Оби, являясь определяющими процессами горизонтальных русловых деформаций (на средней Оби и в рукавах раздвоенного русла нижней Оби). Наличие многолетнемерзлых пород на пойме и берегах Лены (на Оби мерзлота отсутствует) снижает интенсивность размыва берегов.

На Оби в верхнем ее течении при протекании реки вдоль коренного берега Степного плато важную роль в русловых процессах играют оползневые процессы, которые в отдельных случаях способны приводить к кардинальным перестроениям русла.

На Лене в виду более сурового климата и более сложной ледовой обстановки (по сравнению с Обью) возникают мощные ледовые заторы. Которые приводят к развитию пойменных проток, в которые при наиболее мощных заторах может сместиться основной сток воды. Это приводит к перестройке русла, возвращению из которого в «бытовое» состояние занимает десятилетия.

В заключении сформулированы основные выводы:

1. Выявлено, что реки Лена и Обь различаются между собой по количеству морфологически однородных участков (на Оби более 200, на Лене всего 16). Наиболее распространенным типом русла на верхней Оби является разветвленное, на средней – меандрирующее, на нижней – раздвоенное. Река Лена отличается сравнительной

однородностью в распространении морфодинамических типов русла по длине реки. Излучины русла не встречаются. Больше половины всей длины широкопойменного русла приходится на параллельно-рукавное русло. Наибольшая схожесть по типам русла (преобладание параллельно-рукавного русла) и по его морфологии (большое количество малых островов и отсутствие пойменных протоков) наблюдается между верхней Обью (от слияния Бии и Катунь и до устья р.Чарыша) и широкопойменным руслом р. Лены.

2. Для Лены, большую долю длины которой, занимают параллельно-рукавные разветвления, характерно наличие двух динамических осей потока, разделенных группами островов, между которыми осуществляется сток воды. На Оби аналогичное распределение расходов воды характерно лишь для верхнего участка от слияния Бии и Катунь до устья р. Чарыша. В среднем и нижнем течении, сопоставимым по водности с Леной, широкое развитие получило раздвоенное русло

3. На широтном участке средней Оби и в ее нижнем течении формируется большое количество пойменных протоков. На верхней Оби и на Лене протяженные пойменные протоки выражены в гораздо меньшей степени.

4. Для Оби установлено отсутствие четко выраженной корреляции между параметрами излучин и показателями водности реки, что связано с растеканием потока половодья по широкой пойме и рассредоточения стока по рукавам раздвоенного русла и многочисленным пойменным протокам. Для радиусов кривизны и шагов излучин русловых разветвлений характерна асимметричная форма распределения со смещением влево, тогда как для излучин неразветвленного русла и рукавов раздвоенного русла она практически симметричная. В то же время распределение всех излучин по степени развитости показывает абсолютное преобладание пологих излучин.

5. Установлено, что на Оби сложность разветвлений резко сокращается в верхнем течении по длине реки, что связано с уменьшением уклонов. Снижение характеристик сложности разветвлений в среднем и нижнем течении связано с увеличением устойчивости русла. Для рукавов раздвоенного русла тренда в изменении сложности разветвлений по длине рукавов не прослеживается. Для р. Лены свойственен квазиравномерный рост сложности разветвлений, вниз по течению, что, в первую очередь, обусловлено снижением устойчивости при одновременном росте водоносности почти в 2 раза. Показано, что сложность параллельно-рукавного русла Лены и Оби в верхнем течении сопоставимы при введении поправочных коэффициентов на водность и размеры реки.

6. На верхней Оби, в отличие от р. Лены, прослеживается общий тренд уменьшения ширины русла (без учета раздвоенного русла) вниз по течению практически

при любом его морфодинамическом типе, что соответствует увеличению устойчивости и упрощению морфологии русла, выраженной в величине коэффициента n_0/l ; на средней Оби – тренд роста ширины русла благодаря увеличению водоносности реки, причём зависимость $b_p = f(Q)$ в обоих случаях достаточно отчётливо дифференцируется по типам русла. Аномальная ширина русла на первых 100 км ниже слияния Бии и Катунь обусловлена очень низкими значениями устойчивости русла (русло здесь неустойчивое). На Лене рост ширины не дифференцируется по типам русла и довольно устойчив по длине реки.

7. Установлено, что величина критерия Карасева четко дифференцируется по типам русла и позволяет оценивать тенденции динамики русла при изменении его морфологических характеристик. Наибольшие значения критерия Карасева характерны для параллельно-рукавного русла. Минимальные значения критерия наблюдаются на относительно прямолинейных участках.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, определенных в п.2.3 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова:

1. Чалов Р.С., Завадский А.С., **Камышев А.А.**, Михайлова Н.М., Рулёва С.Н. Морфодинамические типы русла и развитие излучин реки Оби (в пределах Томской области) // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 81–91 (Scopus, IF (CiteScore) = 1,0).

2. Чалов Р.С., **Камышев А.А.** Морфодинамика и гидроморфология речных русел как разделы учения о русловых процессах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. Т. 84. № 6. С. 844–854 (Scopus, IF (CiteScore) = 0,5).

3. Чалов Р.С., **Камышев А.А.**, Куракова А.А., Завадский А.С. Особенности рассредоточения стока воды и взвешенных наносов в половодье в раздвоенном русле нижней Оби (в пределах ХМАО-Югры) // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 1. С. 22–33 (Scopus, IF (CiteScore) = 1,5).

4. Чалов Р.С., **Камышев А.А.**, Завадский А.С., Куракова А.А. Морфодинамика и гидролого-морфологическая характеристика русла средней Оби на широтном участке // География и природные ресурсы. 2021. № 2. С. 92–102 (Scopus, IF (CiteScore) = 1,0).

5. Чалов Р.С., Завадский А.С., **Камышев А.А.**, Куракова А.А., Михайлова Н.М., Рулева С.Н. Гидролого-морфологическая характеристика и переформирования

разветвленного русла нижней Оби (в пределах Ямало-Ненецкого АО) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 4. С. 539–553 (Scopus, IF (CiteScore) = 0,5).

6. Чалов Р.С., Куракова А.А., **Камышев А.А.**, Михайлова Н.М. Раздвоенные русла больших и крупнейших рек: условия формирования, рассредоточение стока и морфодинамика рукавов // Геоморфология, 2022. Т. 53. № 2. С. 72–88 (Scopus, IF (CiteScore) = 0,7).

7. Чалов Р.С., **Камышев А.А.**, Куракова А.А., Завадский А.С., Рулева С.Н. Гидролого-морфодинамическая характеристика разветвленного русла нижней Оби (в пределах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры) // География и природные ресурсы. 2022. № 2. С. 102–113 (Scopus, IF (CiteScore) = 1,0).

Публикации в прочих рецензируемых научных изданиях и сборниках конференций:

8. **Камышев А.А.** Количественный анализ разветвлений на верхней Оби // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов): сборник статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Нижний Новгород: Мининский университет, 2016. С. 131–136 (IF = 0).

9. **Камышев А.А.**, Рулёва С.Н., Чалов Р.С. Рассредоточение стока воды в разветвлениях русла средней Оби // Географический вестник. 2017. № 3(42). С. 48–53 (IF = 0).

10. Чалов Р.С., Рулёва С.Н., **Камышев А.А.**, Беркович К.М., Завадский А.С., Михайлова Н.М. Верхняя и средняя Обь: русловые процессы и оценка условий управления ими // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 20. М.: Географический факультет МГУ, 2018. С. 149–195 (IF = 0).

11. **Камышев А.А.** Гидролого-морфологический анализ и русловые процессы на верхней и средней Оби // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов): сборник статей по материалам XII семинара молодых ученых вузов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. М.: Компания ПринтКов, 2019. С. 46–52 (IF = 0).

12. **Камышев А.А.** Мутность воды и расходы взвешенных наносов р. Оби на участке от устья Иртыша до границы ХМАО и ЯНАО // Тридцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Курск, 6–8 октября 2020 г.): доклады и краткие сообщения. Курск, 2020. С. 94–96 (IF = 0).

13. Чалов Р.С., Завадский А.С., **Камышев А.А.**, Куракова А.А., Михайлова Н.М., Рулева С.Н. Раздвоенное русло и пойменная многорукавность нижней Оби: русловая сеть,

рассредоточение стока и морфодинамика рукавов // Маккавеевские чтения – 2020. М.: Географический ф-т МГУ, 2021. С. 63–71 (IF = 0).

14. Голубцов Г.Б., **Камышев А.А.**, Сахаров А.И., Чалов Р.С. Переформирования русла и управление русловыми процессами на затруднительных для судоходства перекатных участках сложно разветвлённого русла нижней Лены // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей. Сборник научных трудов. Т. 5. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2021. С. 79–96 (IF = 0).

15. **Камышев А.А.** Гидромофология разветвлений широкопойменных русел крупнейших рек (на примере Оби и Лены // Тридцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Ижевск, 11–15 октября 2021 г.): доклады и краткие сообщения. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. С. 100–102 (IF = 0).

16. Чалов Р.С., Завадский А.С., **Камышев А.А.**, Куракова А.А., Михайлова Н.М., Рулёва С.Н. Средняя (широтный участок) и нижняя Обь: условия формирования, морфодинамика и гидроморфология русла (в пределах ХМАО-Югры и ЯНАО) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 22. М.: Компания ПринтКов, 2022. С. 92–102 (IF = 0).