

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи



Камышев Арсений Андреевич

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

1.6.16 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук,
Чалов Роман Сергеевич

Москва – 2022

Оглавление

Введение.....	3
1. Природные и антропогенные факторы русловых процессов.....	9
1.1 Физико-географическая характеристика бассейна	9
1.2 Климатическая характеристика.....	15
1.3 Сток воды и уровенный режим.....	17
1.3 Характеристика пойм	24
1.4 Руслоформирующие расходы воды.....	26
1.5. Руслообразующие наносы	28
1.6 Устойчивость русел.....	30
1.7. Антропогенное воздействие на русла	32
2. Современные представления о гидроморфологии широкопойменных русел и история изучения рек Оби и Лены.....	36
2.1. Гидроморфология как составляющая часть учения о русловых процессах (русловедении).....	36
2.2. История изучения русловых процессов Оби и Лены.	42
3. Морфодинамическая типизация русел рек Оби и Лены	48
3.1 Основные существующие типизации русел и оценка их применимости к широкопойменным руслам.....	48
3.2 Распространение морфодинамических типов русел на Лене и Оби.....	52
3.3 Особенности рассредоточения стока воды в разветвлениях русла	110
4. Гидролого-морфологический анализ русел рек Оби и Лены.....	132
4.1. Гидролого-морфологический анализ излучин.....	132
4.2. Гидролого-морфологический анализ разветвлений.....	145
4.3 Критерий квазиоднородности потока Карасёва.....	155
5. Анализ русловых переформирований	159
Заключение	184
Литература	186

Введение

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 [Чалов, Камышев, 2020]. 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 большим 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. На р. Лене русловые процессы благодаря работам ученых МГУ достаточно полно, хотя и очень неравномерно по разным участкам, освещены в литературе; на р. Оби в этом

отношении среднее и особенно нижнее течение, несмотря на ее большое транспортное значение, практически представляют «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 на основе натурных измерений 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, наибольшие значения которого характерны для разветвлённых русел.
4. Для реки Лены наблюдается тенденция к трансформации разветвлений различных типов в параллельно-рукавные, что связано с увеличением водности реки.
5. Обосновано выделение в рамках учения о русловых процессах двух дисциплин 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 натурные 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 в научных публикациях 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 выявлять 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 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 решении 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 воднотранспортных проблем, в первую очередь, связанных с речным транспортом. Выявленные закономерности гидроморфологии и русловой динамика 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 (много рукавные русла): гидролого-морфодинамический анализ, гидрологические функции, временная трансформация, методы управления для обеспечения гидроэкологической безопасности» (№ 18-17-00086,

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

Публикации. По результатам исследования подготовлено **16** публикаций, в том числе **7** статей в научных журналах, включенных в перечень российских рецензируемых журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, кроме того, одна статья находится в печати.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации 195 страницы, 102 рисунка, 21 таблица. Список литературы включает 136 источников.

Автор глубоко признателен своему научному руководителю профессору Р.С. Чалову за помощь в подготовке диссертации, коллективу научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, в первую очередь кандидатам географических наук А.С. Завадскому и С.Н. Рулевой, за поддержку в проведении полевых исследований и предоставленные архивные материалы прошлых лет исследований; сотрудникам кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ за конструктивные советы при обсуждении результатов исследования, а также работникам Ленского, Обского и Обь-Иртышского бассейнов водных путей, создавших благоприятные условия для выполнения исследований и предоставивших материалы технических изысканий.

1. Природные и антропогенные факторы русловых процессов

1.1 Физико-географическая характеристика бассейна

Реки Обь и Лена (рис.1.1.1, 1.1.2) 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].



Рисунок 1.1.1 – Бассейн р. Оби (красным выделено широкопойменное русло – объект исследования) [Большая..., 2014]



Рисунок 1.1.2 – Бассейн р. Лены (красным выделено широкопойменное русло – объект исследования) [Большая..., 2014]

Рельеф и геологическое строение. Бассейн р. Оби расположен на обширной Западно-Сибирской равнине, протянувшейся от гор Юга Сибири (Алтай, где берут начало образующие Обь реки - Бия и Катунь) до побережья Северного Ледовитого океана. Современный рельеф сформировался за четвертичный период, во время которого происходило тектоническое опускание территории, что являлось причиной преобладания процессов направленной аккумуляции наносов, она явилась ареной материковых оледенений, трансгрессий и регрессий моря, образования перигляциальных водоемов [Воскресенский, 1962, Архипов и др., 1970, Западная Сибирь, 1963], обеспечивших свободные условия развития русловых деформаций и формирование широкопойменных русел. Расположение р. Оби в пределах одной из крупнейших в мире низменностей определяет то, что широкопойменное русло характерно для всей длины реки. Исключение составляет лишь один участок в районе г. Камня-на-Оби, где отроги Салаирского кряжа

сужают долину, создавая короткий участок врезанного русла, ширина поймы сокращается с 7-10 км до 1 км и на протяжении 1,5-2 км вообще исчезает.

В верхнем течении река делает крутые повороты на 90°, огибая Степное Предалтайское плато в районе устья р. Чарыша и г. Барнаула и западных отрогов Салаирского кряжа в районе г. Камень-на-Оби (рис. 1.1.3). Второй короткий участок врезанного русла находится у г. Новосибирска, где река протекает вдоль Новосибирского гранитного массива, Расширение долины между этими сужениями заполнено Новосибирским водохранилищем. Ниже г. Новосибирска влияние еще трех гранитных массивов сказывается на протяжении почти 150 км в расположении реки в основном вдоль правого коренного берега и выходах скал в самом русле.



Рисунок 1.1.3 – Река Обь в верхнем течении

Ниже по течению р. Обь протекает по южной и центральной частям Западно-Сибирской низменности вплоть до устья р. Иртыша, после слияния с которым в районе п. Перегрёбного пересекает Сибирские увалы (Белогорский материк). В нижнем течении Обь, принимая северное направление течения, пересекает северо-западную часть Западно-Сибирской низменности, впадая в Обскую губу (рис. 1.1.4). Начиная от устья Томи река имеет широкую двустороннюю пойму (за исключением участка от устья р. Иртыша до с. Перегрёбного), лишь изредка подходя к уступам надпойменных террас. В нижнем течении

у впадения слева р. Северной Сосьвы ширина поймы Оби достигает 60 км, превышая ширину русла в 20 раз.

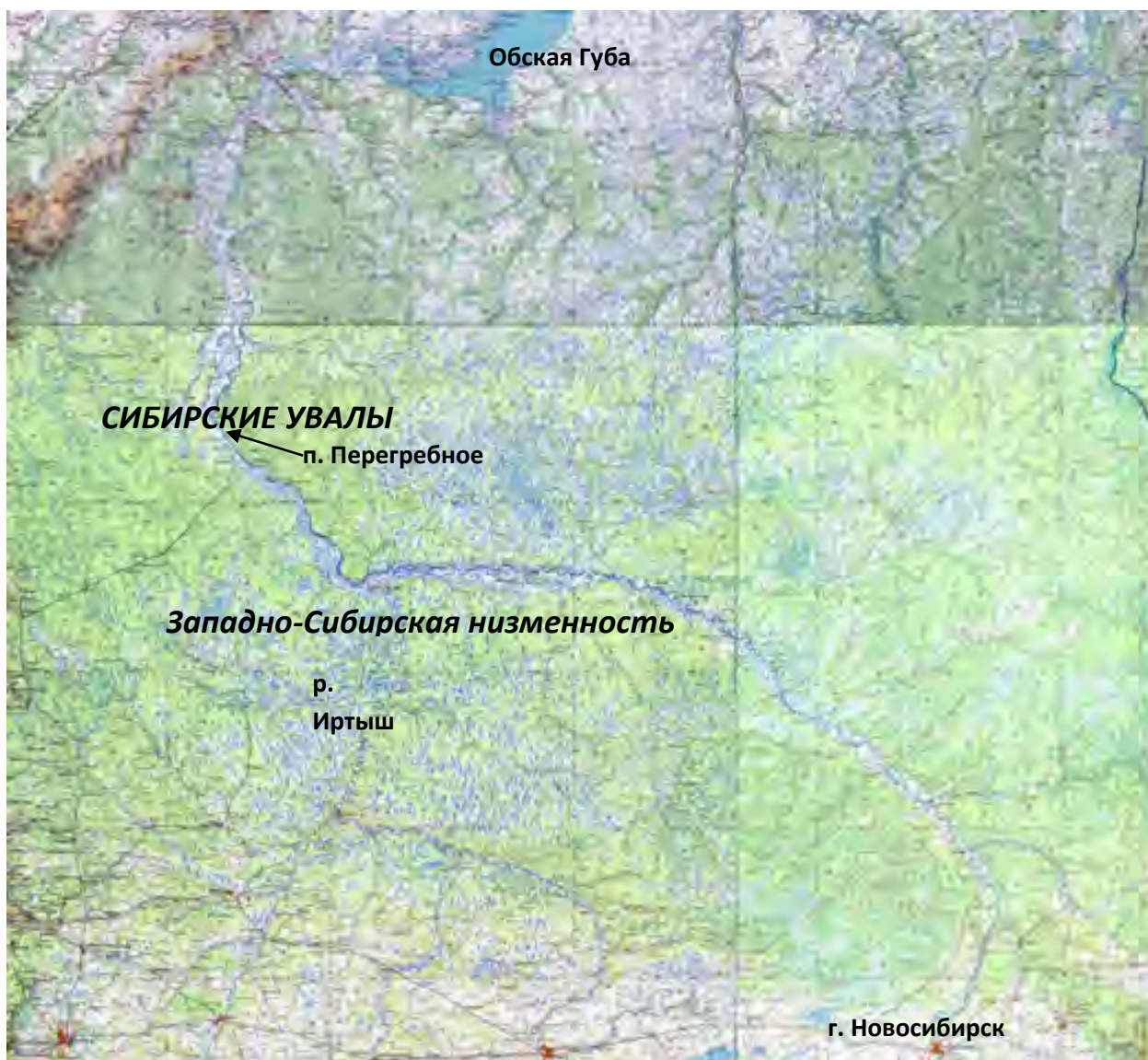


Рисунок 1.1.4 – Река Обь в среднем и нижнем течении

Территория имеет плавный уклон с юга на север. Отметки меженного уровня воды в узле слияния Бии и Катунь составляют 160 м БС. Незначительное падение реки по ее длине обуславливают минимальные уклоны водной поверхности, составляющее в нижнем течении 0,02-0,03‰ (при 0,18-0,20‰ в верховьях непосредственно ниже слияния Бии и Катунь).

Бассейн р. Лены в геологическом строении принадлежит к докембрийской Сибирской платформе. В верхнем и большей части среднего течения она протекает во врезанном русле вдоль Северо-Байкальского нагорья и далее почти до г. Покровска между Приленским плато и северной окраиной Алданского нагорья (рис. 1.1.5). Ниже г. Покровска река пересекает Центрально-Якутскую низменность, которая с востока (по правобережью) ниже устья Алдана ограничена отрогами Верхоянского хребта. Ниже

с. Жиганска Лена пересекает возвышенности и горные массивы, вследствие чего пойма отсутствует и русло вновь становится врезанным вплоть до выхода в пределы дельты. Таким образом, широкопойменная русло на р. Лене составляет протяженный участок от г. Покровска до с. Жиганска; оно имеется также на небольшом участке реки (30 км выше устья р. Олёкмы). Совокупная протяженность широкопойменного русла составляет около 1000 км при общей длине реки 4260 км, что составляет 23,5% длины реки.

Исследуемый участок реки Лены располагается в пределах Сибирской платформы на Центрально-Якутской низменности. Низменность в мезозойское и кайнозойское время характеризовалась устойчивым опусканием и осадконакоплением. Она преимущественно сложена угленосными отложениями юрского, мелового и неогенового возраста. Широко распространены четвертичные отложения озерно-ледникового и аллювиального генезиса, которые насыщены льдом и имеют включения повторно-жильных льдов [ОГХ Том 17, 1967].

Для реки Лены свойственны значительные вариации уклонов водной поверхности. Исток реки расположен на высоте 1500 м над уровнем моря. Однако в районе г. Олекминска меженные отметки уреза воды составляют 125 м БС при расстоянии от устья в 2250 км; средний уклон водной поверхности на средней и нижней Лене составляет 0,055 ‰.



Рисунок 1.1.5 – Река Лена на участке от г. Покровска до с. Жиганска; участок реки выше устья р.Олекмы (карта - врезка)

Широкопойменное русло р. Лены формируется в области распространения многолетнемерзлых пород, на р. Оби мерзлота отмечается лишь в ее самых низовьях и не оказывает влияния на формирование русла. Мерзлота формируется на поймах, на островах и относительно мелководных участках русла, снижая интенсивность русловых переформирований [Тананаев, 2007; Алексеев, 1961; Русловой режим..., 1995]. В зимний период обсохшие значительные по площади участки русла промерзают на глубину 3-6 м. При толщине льда до 1,5 м и более лед на большей части русла ложится на дно, русло

промерзает, что обуславливает формирование в нем мерзлых грунтов. После перехода температуры воды через ноль начинается оттаивание промерзших участков русла, однако сумма положительных температур недостаточна для полного протаивания замерзших участков. В результате этого образовавшаяся мерзлая толща сохраняется [Танананев, 2007, Беркович, 1972].

1.2 Климатическая характеристика

Бассейны р. Лены и р. Оби характеризуются резкоконтинентальным климатом, однако их климатические характеристики значительно различаются (табл. 1.1.1).

Таблица 1.1. Основные климатические характеристики в пределах Ленского и Обского бассейнов [Погода и климат, интернет-ресурс].

Населенный пункт		р. Лена		р. Обь			
		г. Якутск	п. Жиганск	г. Барнаул	г. Новосибирск	г. Сургут	г. Салехард
Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С.	январь	-41.8	-38.5	-15.5	-16.5	-20	-23.2
	февраль	-35.8	-34.5	-13.7	-14.8	-18.3	-22.9
	март	-22	-23.1	-6.5	-7.6	-9.3	-14.9
	апрель	-7.1	-10.3	3.8	2.3	-2.9	-9.1
	май	6.0	1.7	12.8	11.8	5.8	-0.5
	июнь	15.4	12.2	17.7	17.1	14.4	9.5
	июль	18.9	16.2	19.9	19.4	18.2	14.8
	август	15	12	17.4	16.6	14.4	11.4
	сентябрь	6.0	3.8	11	10.2	7.4	5.3
	октябрь	-8.2	-10.2	3.8	3.1	-0.2	-3.0
	ноябрь	-28.3	-29.1	-6.3	-6.9	-11.5	-15.3
	декабрь	-39.3	-36.8	-12.9	-14	-18	-20.6
год	-10.1	-11.5	2.6	1.7	-1.7	-5.7	
Абсолютный минимум температуры воздуха, °С.		-59.8	-60.0	-48.2	-51.1	-55.2	-53.7
Абсолютный максимум температуры воздуха, °С.		38.4	27.6	38.3	41.1	35.2	32.9
Среднее годовое количество осадков, мм		276	388	432	460	580	450

Для климата Ленского бассейна характерны большие сезонные амплитуды температур, малое количество осадков (в равнинных областях) и малая облачность. Особенности температурного режима в зимний период определяются устойчивым сибирским антициклоном. Циклоническая деятельность зимой ослаблена, но она тем не

менее влияет на погодные условия, приводя к выпадению осадков и смене воздушных масс [Справочник..., 1989].

Преобладание континентальных воздушных масс обуславливает выхолаживание воздуха с декабря по февраль. Средние температуры января уменьшаются с юга на север. Минимумы температуры могут достигать -60°C в долинах и котловинах [Справочник..., 1989].

В летний период на территории Ленского бассейна температуры сравнительно высокие. Средние температуры воздуха возрастают от северной части рассматриваемого участка к югу от 12°C до 18°C , максимальные поднимаются до 30°C и выше. При этом нередко происходят адвекции холодного арктического воздуха со стороны Северного-Ледовитого океана. Летом циклоническая деятельность выражена сильнее, чем в зимний период. Основные направления движения циклонов – северо-западное, юго-западное и западное [Справочник..., 1989].

Распределение осадков по территории определяется особенностями рельефа и циркуляции атмосферы. Годовые суммы осадков варьируют от 130 до 1000 мм, достигая максимумов в горных районах. Зональность распределения осадков в бассейне Лены не выражена, что обусловлено сложным рельефом. Большее количество осадков приходится на летние месяцы. Интенсивные осадки зачастую вызывают летние паводки.

Обский бассейн практически полностью располагается на равнинной территории, что определяет зональность территории и закономерную дифференциацию метеорологических параметров с юга на север. Зима на территории бассейна холодная, средние температуры воздуха января изменяется от -30°C в северных районах до -18°C в южных. Средние температуры воздуха июля изменяются гораздо меньше: от 20°C в районе г. Барнаула до 14°C в районе г. Салехарда. Значительная часть солнечной радиации расходуется на испарение, что уменьшает амплитуду колебания температур [Справочник..., 1998].

В летний период происходит активизация циклонической деятельности по всей Западно-Сибирской равнине. При этом количество циклонов сокращается с севера на юг. В южные районы проникают циклоны из Черного и Каспийского морей, а также с низовьев Волги; в северную часть Обского бассейна приходят циклоны из Атлантики и из средней полосы Европейской территории России.

Количество осадков по территории варьирует от 400 до 600 мм. Осадки практически по всей территории (за исключением участка выше устья р. Чарыша) превышает испаряемость на 100-200 мм.

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. Всё широкопойменное русло р. Лены располагается в зоне средней и северной тайги, граница между которыми проходит в 100 км ниже устья р. Вилюя.

Ландшафты Ленского бассейна в пределах рассматриваемого участка представлены среднетаежными светлохвойными сосново-лиственничными лесами [Водные пути..., 1995]. Обский бассейн отличается большим разнообразием ландшафтов. В южной части участка в районе Приобского плато и вплоть до водораздела Томь-Обь преобладает антропогенная лесостепь. Севернее располагается зона тайги, в пределах которой значительные площади занимают заболоченные территории. Лесотундра наблюдается лишь в нижней части участка, в районе г. Салехарда. Для обеих рек в пределах пойм широко распространены ивняки и заливные луга [Русловые процессы..., 2001].

1.3 Сток воды и уровенный режим

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, Вилюй. По водному режиму р. Обь и р. Лена относятся к рекам с весенним половодьем (Западно-Сибирский тип – Обь; Восточно-Сибирский тип - Лена).

Река Лена. По величине стока и особенностям его изменения по длине Лене принято разделять на три участка: верхнее течение – от истока до устья Витима, среднее течение – от устья Витима до устья Алдана и нижнее течение – от устья Алдана до дельты. Самый крупный приток Лены – река Алдан дает 35% ее стока, разделяя широкопойменное русло средней и нижней Лены на две неравные по водности части. общий объем стока Лены составляет при впадении в море Лаптевых 522 км³. Доля стока Вилюя, последнего крупного притока Лены, лишь в многоводные годы превышает 10% [Вода России, 2020].

В пределах основного участка широкопойменного русла находится восемь гидрологических постов. При этом они сконцентрированы в верхней его части и выше слияния с Алданом – от г. Покровска до с. Намцы (5 постов). Ниже по течению на более чем 600 км реки имеется только два гидрологических поста (рис. 1.3.1). Один пост находится на Олекминском участке. При этом только на г.п. Олекминск и на г.п. Табага производятся измерения расходов воды; все остальные посты являются уровенными. Расходный пост в нижнем течении – Кюсюр находится в 520 км ниже широкопойменного русла уже в Ленской трубе при пересечении рекой горного массива перед выходом в дельту.



Рисунок 1.3.1 – Схема гидрологических постов в пределах широкопойменного русла р. Лены

Аккумулируя большие объемы воды на огромной площади сложного в плане рельефа бассейна, Лена отличается сравнительно небольшой изменчивостью годового

стока. Значения C_v имеют минимальные значения в нижнем и среднем течении (0,12), возрастая до 0,15-0,18 в верхнем течении.

Основными источниками питания реки Лены являются твердые осадки. На средней Лене за счет влияния р. Витима возрастает роль летне-осенних дождей, доля которых в формировании стока может быть сопоставима со снеговым питанием. На нижней Лене доля дождевого питания составляет 35%, на снеговое питание приходится 50%, грунтовая составляющая в среднем – 15%. Такое распределение определяет высокое весеннее половодье, наличие летне-осенних паводков и крайне низкую зимнюю межень [Ресурсы поверхностных вод..., 1967].

Волна половодья относительно медленно продвигается вниз по течению, встречая при своем движении ледяной покров. С началом весеннего половодья расходы воды в течение нескольких дней возрастают в десятки раз. На спаде половодья наблюдается быстрое уменьшение стока, которое как правило прерывается за счет наложения на тыловую часть волны половодья дождевых паводков, расходы воды которых на средней Лене могут в отдельные годы лишь незначительно уступать расходам половодья. Дождевые паводки за счет большей скорости распространения по свободному ото льда руслу и высокой воде на нижней Лене, как правило, сливаются с волной половодья, вследствие чего здесь наблюдается единый сильный и более продолжительный подъем уровней и более равномерный их спад, растягивающийся в отдельные годы вплоть до августа. К концу лета приблизительно в одни и те же даты устанавливается кратковременная межень, на смену которой приходят осенние паводки, мощность которых на средней Лене в отдельные годы может быть сопоставима с половодьями. Зимой расходы воды кардинально снижаются. Ввиду большой протяженности реки сезонные процессы могут сильно растягиваться по времени. Половодье в верхнем течении наблюдается обычно в апреле, в среднем течении – в мае, а в нижнем – в июне.

На рисунке 1.3.2 представлены характерные графики колебания уровней воды за средние по водности годы на основных гидрологических постах р. Лены в пределах широкопойменного русла.

Среднегодовые расходы воды на Лене (г/п Табага) составляет около 8000 м³/с, максимальные расходы воды могут превышать 50000 м³/с. Минимальные значения расходов воды наблюдаются во время зимней межени (менее 1000 м³/с). В нижней части рассматриваемого участка (г/п Жиганск) средние расходы воды превышают 15000 м³/с, максимальные расходы превышают 180000 м³/с. В условиях зимней межени сток сокращается до 2000 м³/с и менее [Большая российская..., 2014].

Для весеннего половодья свойственен резкий подъем уровней, интенсивность которого возрастает от 236 см/сутки в среднем течении до 655 см/сутки в нижнем течении. Амплитуды колебаний уровней также увеличиваются в том же направлении, возрастая от 900 см в районе г.п. Олекминск и Табага до 1266 на г.п. Жиганск. Спад половодья в среднем течении происходит со скоростями, сопоставимыми с подъемами уровней. В нижнем течении пик половодья несколько растянут во времени, и спад его сравнительно замедлен. Колебания уровней при прохождении летне-осенних паводков достигает 4-5 м. Минимальные уровни наблюдаются в апреле, причем в нижнем течении падение уровней зимой может достигать 3 м ниже летнего меженного, на средней Лене – около 1 м.

Закономерные изменения уровней местами нарушаются благодаря образованию заторов во время ледохода и при возникновении явлений переменного подпора или спада в узлах слияния с крупными притоками [Русловой режим..., 1976]. В месте впадения Вилюя расход Лены даже при прохождении половодья на притоке в более ранние сроки оказывается в несколько раз большим. Выходя в широкое русло Лены, вилюйский поток практически не оказывает влияния на ее уровенный режим.

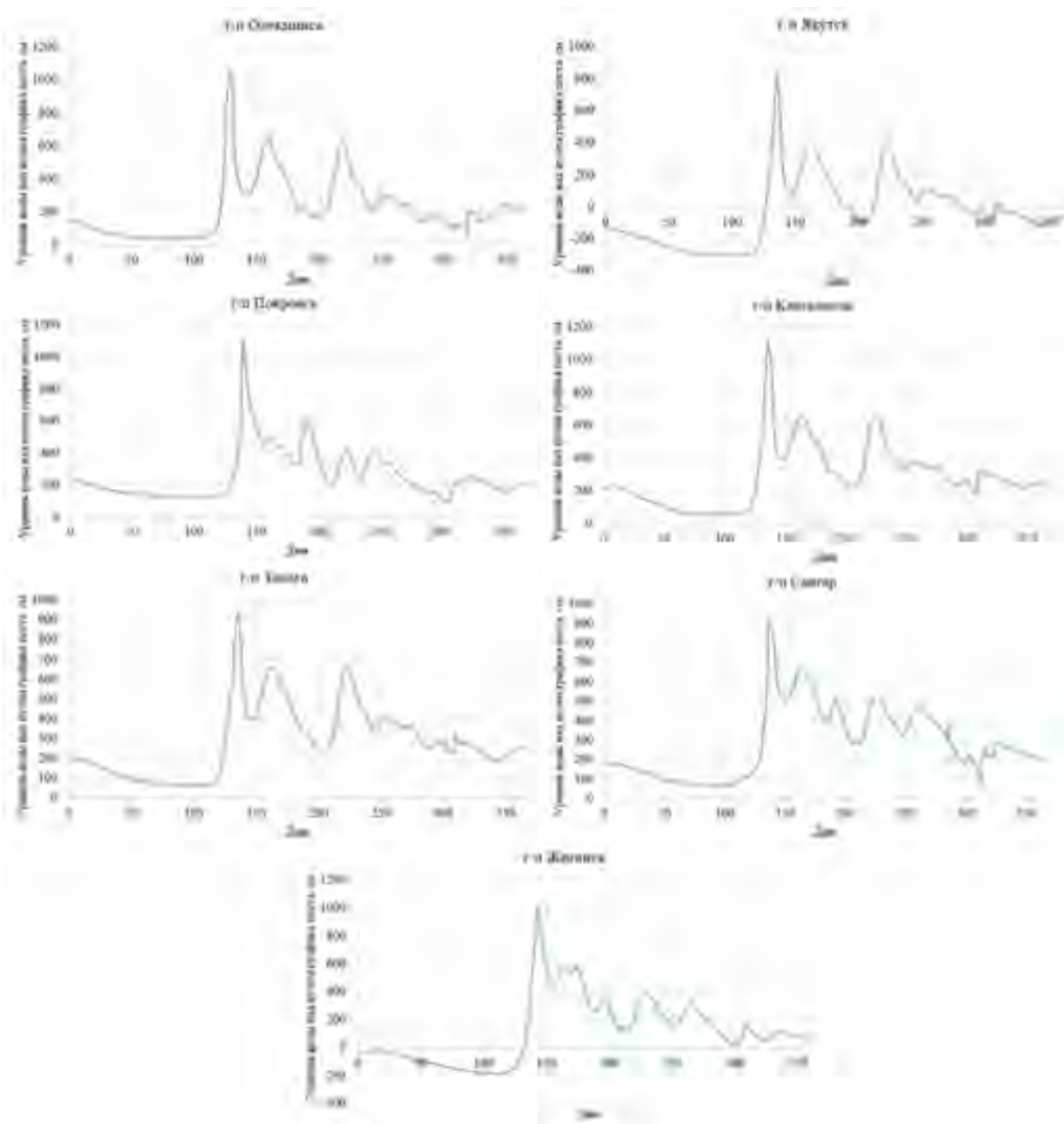


Рисунок 1.3.2 – Графики хода ежедневных уровней воды на гидрологических постах (г/п) р. Лены

Река Обь. Водный режим Оби носит сложный характер, обусловленный интеграцией различных типов режимов тех природных зон, через которые она протекает. Половодье является основной фазой водного режима – на него приходится основная часть годового стока, наблюдаются максимальные расходы и наибольшие уровни воды [Вода России, 2020].

В пределах широкопойменного русла р. Оби располагается 24 гидрологических поста. Частота которых максимальна в нижнем течении и в районе нефтеносных провинций ХМАО (рис. 1.3.3). Расходными постами являются: Фоминское, Барнаул,

Камень-на-Оби, Новосибирск, Дубровино, Колпашево, Александровское, Белогорье, Салехард.

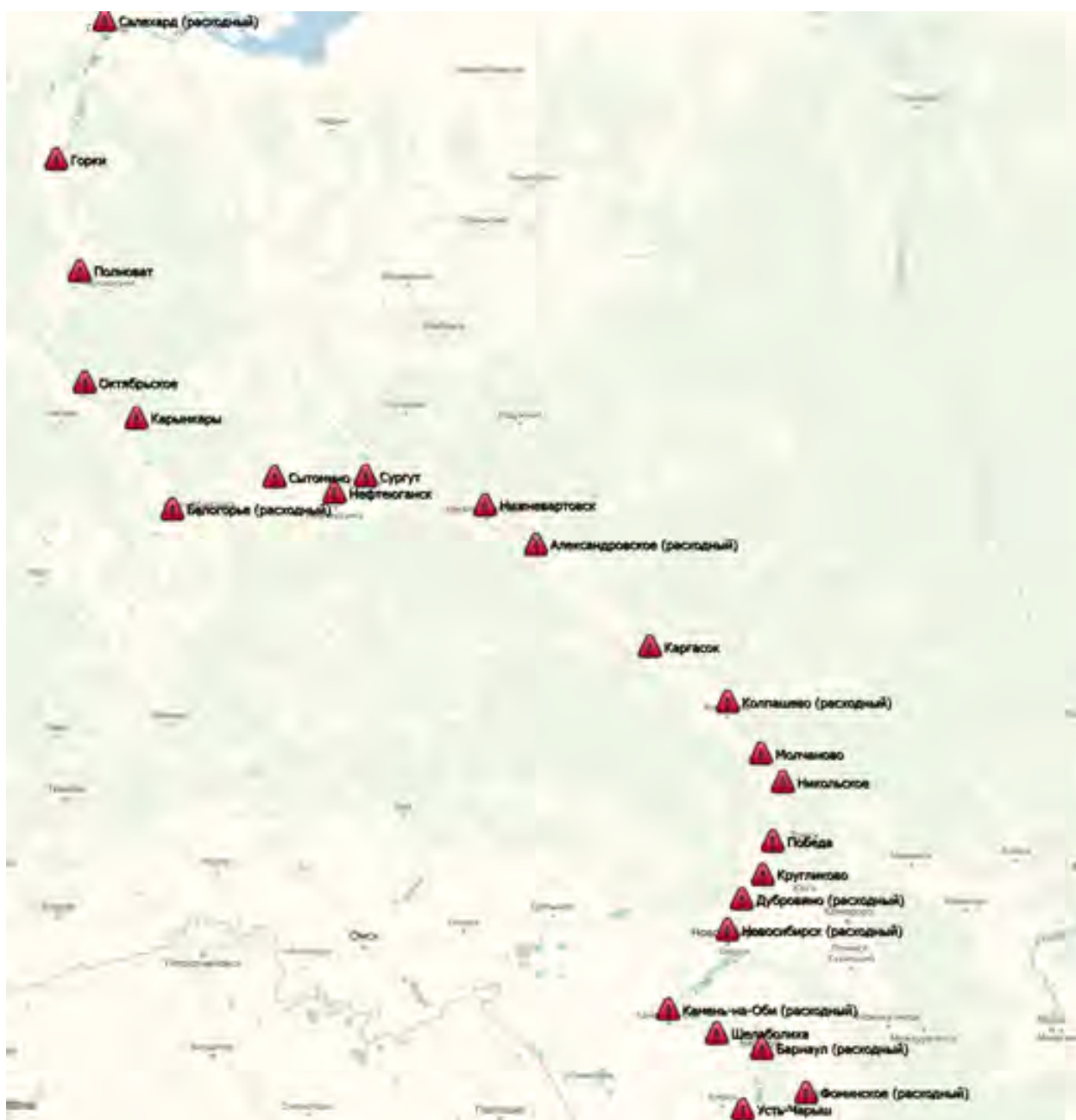


Рисунок 1.3.3 – Схема гидрологических постов в пределах широкопойменного русла р. Оби

Обь характеризуется невысоким и растянутым весенне-летним половодьем, повышенным стоком летне-осеннего периода и низкой зимней меженью. В верхнем течении наблюдаются 2 волны половодья – первая в начале, вторая по окончании периода высоких вод. Наибольший уровень и расход воды наблюдается то в один, то в другой из этих подъемов. Первая волна вызвана таянием снега на равнинных участках. Максимум приходится на середину апреля – начало мая. Вторая волна обусловлена таянием ледников и снега в горах, формируется за счет стока с бассейна рек Катунь, Бий, Чарыш. Ее пик в

районе г. Новосибирска наблюдается в июне или июле. В верхнем течении (в районе г. Барнаула) вторая волна как правило выше первой, но, в связи с отсутствием пополнения при движении вниз по течению, плавно сглаживается. Поэтому ее максимум на средней Оби меньше, чем во время первой волны. Неодновременное поступление талых вод из различных частей бассейна сильно растягивает половодье. Этому способствует также наплаивание на него паводков за счет летних осадков. В июле начинается медленный спад уровня реки, который продолжается вплоть до зимней межени. Возле устья р. Томи обе волны обычно сливаются, и ниже на реке наблюдается единый мощный подъем уровней, продолжающийся от мая до июля включительно [Русловые процессы..., 2001].

Интенсивность подъема и спада уровней при прохождении первой волны половодья сильно варьирует по длине реки. Подъем уровней у г. Барнаула происходит быстро, продолжаясь в среднем 24-30 дней с наибольшей интенсивностью до 90 см/сут. От г. Новосибирска до г. Колпашево продолжительность подъема половодья примерно такая же, наибольшая его интенсивность возрастает до 160 см/сут. Спад уровней половодья происходит медленно, что связано с подпитыванием реки за счет таяния высокогорных снегов и ледников. Наибольшая интенсивность спада не превышает 50 см/сут. Плавный спад уровня в среднем и нижнем течении Оби продолжается до конца августа. Наивысшие уровни воды наблюдаются в мае-июне. Наименьшие для периода открытого русла уровни приурочены к октябрю, когда река почти полностью переходит на грунтовое питание. Амплитуда колебания низших летних уровней на участке Барнаул – Колпашево составляет 1.8-2.5 м. Превышение весеннего подъема уровня над низшим летним – 6-8 м.

Зимой водность реки еще более уменьшается. Низшие уровни наблюдаются в марте. В результате заторов льда уровни на Оби могут повышаться более чем на 5 м [Бузин, 2004].

Многолетняя амплитуда колебания уровней на Оби на участке составляет 3-9 м. На рисунке 1.3.4 приведены графики хода ежедневных уровней р.Оби за средние по водности годы.

Среднегодовые расходы воды на Оби (г/п Фоминское) составляет около 1150 м³/с, максимальные расходы воды в отдельные годы могут превышать 12900 м³/с. Минимальные значения наблюдаются во время зимней межени (менее 125 м³/с). В среднем течении (г/п Колпашево) значения расходов воды возрастают: среднегодовой - до 4030 м³/с; макс. – более 30000 м³/с; мин. – менее 520 м³/с. В нижнем течении (г/п Салехард) значения расходов воды увеличиваются: среднегодовой – 12800 м³/с; макс. – более 42800 м³/с; мин. – менее 2000 м³/с.

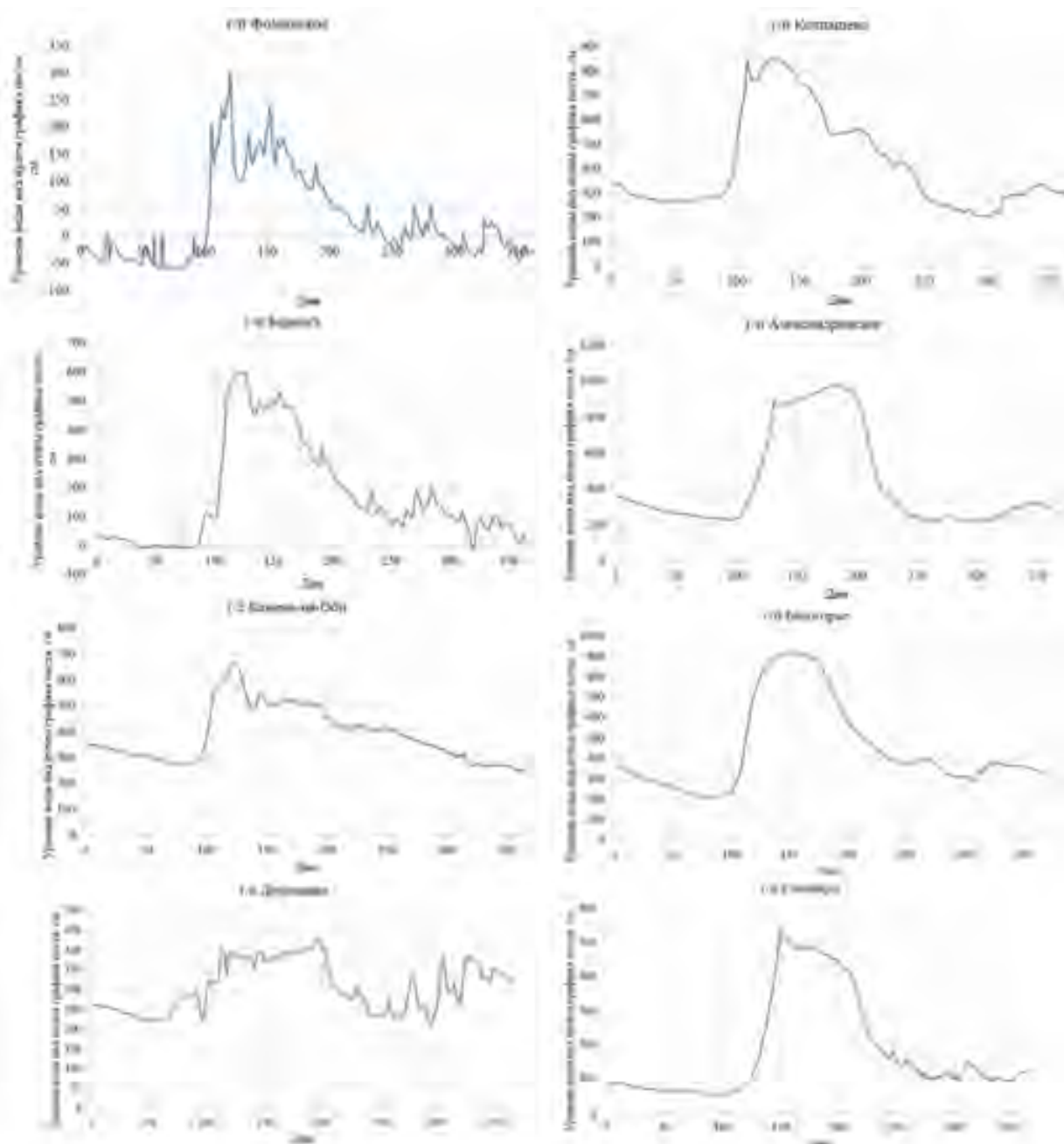


Рисунок 1.3.4 – Графики хода ежедневных уровней воды на гидрологических постах (г/п)
р. Оби

1.3 Характеристика пойм

Поймы рек – участки дниц речных долин, подверженных затоплению, образующиеся в процессе русловых деформаций вследствие формирования растительного покрова на возвышенных частях обсыхающих в межень прирусловых отмелей, побочней, осередков, кос с последующим отложением на них пойменного наилка во время фаз повышенной водности. Поймы оказывают значительное влияние на русловые деформации вследствие аккумуляции части стока воды во время паводков и половодий, что приводит к поступлению наносов в русло при размыве пойменных яров. Кроме того, во время выхода

воды на пойму наблюдается трансформация гидравлической структуры руслового потока за счет его взаимодействия с пойменным потоком, выход воды на заросшую пойму и слив с нее в русло.

Пойма р. Лены. В пределах Центрально-Якутской низменности, где русло развивается в свободных условиях, преобладает двусторонняя пойма. Однако местами к реке подходят коренные берега, ярчайшим примером являются Табагинский мыс и Кангалассий мыс, которые обрамляют долину Туймаада, в пределах которой находится г. Якутск. На нижней Лене развитию правобережной поймы препятствуют отроги горных массивов подходящие к реке в районе устья р. Вилюя.

Для нижней Лены при максимальной ширине русла до 28 км (вместе с островами), относительная ширина поймы незначительна (отношение ширины поймы к суммарной ширине русла не превышает единицу), при этом преобладает одностороннее распространение пойменных массивов (левобережная пойма). В пределах средней Лены относительная ширина поймы к ширине русла также невысока (значение варьирует от 1:1 до 1:6).

Для ленской поймы характерно развитие пойменных протоков, что связано с прохождением руслоформирующих расходов при затопленной пойме. В тыловых частях поймы встречаются пойменные протоки, которые представляют собой бывшие рукава и старицы. Активизация пойменных протоков наблюдается во время фаз повышенной водности. Однако количество протоков сравнительно не велико и, в частности, значительно меньше, чем в пределах поймы р. Оби ниже устья р. Томи.

Поймы р. Оби. Пойма в значительной степени влияет на регулирование стока, аккумулируя значительный объем воды. Понижения в рельефе поймы могут занимать до 50% ее площади [Русловые процессы..., 2001]. Из-за этого в периоды, когда пойма заполняется водой, прослеживается уменьшение стока воды по длине реки (апрель-июнь), при отдаче воды с пойменных массивов напротив наблюдается увеличение стока (июль-сентябрь). Подобные процессы свойственны нижней и средней Оби (вне зоны влияния Новосибирской ГЭС). На верхней Оби в виду особенностей пойменного рельефа и условий ее затопления данные явления наблюдаются лишь локально (устье р. Чарыша, устье р. Алея, около г. Барнаула) и только во время высоких половодий. В нижнем бьефе Новосибирского водохранилища роль поймы незначительна [Максимов, 1963, Максимов, Мерзлякова, 1981, Русловые процессы..., 2001].

Геологические и геоморфологические особенности территории определяют основные различия в характере распределения пойм, их рельефе, геологическом строении и размывах пойменных берегов. В местах пересечения рекой положительных структур

происходит сужение долины, что выражается в слабом развитии пойм. В качестве примеров можно отметить сужения долины реки в районе г. Камень-на-Оби (здесь пойма практически не выражена), пересечение Обью Сибирских увалов в районе с. Перегрёбного и участок реки около г. Салехарда. Выше устья р. Чарыша, ниже г. Барнаула и от устья р. Иртыша до с. Перегрёбного пойма также односторонняя, т.к. один из берегов представлен террасами.

Течение реки вдоль коренных берегов обуславливает наличие преимущественно односторонней поймы, это отчетливо прослеживается на участке реки от устья р. Чарыша до г. Камень-на-Оби, где река протекает вдоль высоких уступов Степного плато. Еще одним протяженным участком реки с односторонней поймой является участок от устья р. Иртыша до п. Перегрёбного, здесь река протекает вдоль правого коренного берега, в связи с чем выражена лишь левобережная пойма.

Распространение пойменных протоков отличается значительной неравномерностью. На верхней и средней Оби вплоть до устья Томи они практически не встречаются. После устья Томи происходит увеличение ширины поймы и ниже устья р. Кети меняются условия прохождения руслоформирующих расходов, формируется диапазон, соответствующий затопленной пойме. Это приводит к появлению и увеличению вниз по течению количества пойменных протоков.

Для Оби характерны крайне высокие значения ширины поймы $V_{п}$ и отношения ширины поймы к ширине русла $V_{п}/V_{р}$. Максимальные значения этих показателей наблюдаются на нижней Оби в районе впадения р. Северной Сосьвы, где ширина поймы достигает 60 км, а соотношение $V_{п}/V_{р}$ превышает 1:10.

1.4 Руслоформирующие расходы воды

В практике русловых процессов существует несколько подходов к определению руслоформирующих расходов. К основным из них относятся методы предложенные И.В. Карасевым [1986], В.И. Антроповским [1970], В.С. Лапешенковым [1979]. Данные подходы основаны на общих представлениях о функционировании потоков воды в реках и не базируются на реальном стоке наносов и времени его воздействия на русло в различные по водности годы. Кроме того, они ограничены региональными рамками или конкретными русловыми формами, не учитывают деформации русел, происходящие в различные фазы водного режима.

Наиболее обоснованным является методика определения руслоформирующих расходов воды, предложенная Н.И. Маккавеевым [1955, Проектирование судовых ходов... 1964]. Этот подход базируется на утверждении, что наносы играют ведущую роль в формировании русла, и учитывает продолжительность воздействия расходов различной

обеспеченности на русло рек. В конечном счете руслоформирующий расход воды Q_{ϕ} рассчитывается как максимум выражения:

$$Q_{\phi} = \max[f(\sigma Q^m IP)],$$

где σ – коэффициент, зависящий от соотношения ширины поймы к ширине русла и фазы водного режима и варьирующийся в пределах от 0,5 до 1; P – обеспеченность расхода воды, I – уклон поверхности воды; m – коэффициент, обусловленный крупностью наносов и изменяющийся в пределах от 2 до 3 [Маккавеев, Чалов, 1986].

Реки Обь и Лена различаются друг по условиям прохождения руслоформирующих расходов воды, что обусловлено различной водностью рек в пределах их широкопойменных русел, разными значениями уклонов водной поверхности, крупности наносов и шириной поймы.

Руслоформирующие расходы воды в среднем течении р. Лены имеют два максимума: верхний, имеющий 7% обеспеченность; и нижний, имеющий обеспеченность 16%. 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. Для нижней Лены свойственна большая продолжительность спада половодья, что приводит к большей продолжительности периода интенсивных русловых трансформаций. Осенние паводки также часто достигают руслоформирующих значений. В следствие этого обеспеченность верхнего максимума уменьшается (4%). Нижний максимум, при этом, напротив имеет большую обеспеченность (25%) [Русловой режим..., 1976].

Обь, частично в среднем и в верхнем течении, отличается от Лены, что проявляется в отсутствии верхнего Q_{ϕ} [Чалов, 2008], который возникает только на широтном участке реки ниже впадения р. Кети и сохраняется до устья. Верхнее течение отличается существованием одного руслоформирующего расхода воды среднего интервала, обеспеченность и значения которого увеличиваются вниз по реке (табл. 1.4.1). Лишь в районе устья р.Томи наблюдается существенное уменьшение обеспеченности Q_{ϕ} , что обусловлено впадением крупных притоков [Русловые процессы..., 2001].

Таблица 1.4.1. Руслоформирующие расходы воды и их обеспеченность на реках Оби и Лене в естественных (Е) и зарегулированных (З) условиях [Чалов, 1979, 2008]

Гидрологический пост	Руслоформирующий расход воды					
	Верхний		Средний		Нижний	
	м ³ /с	%	м ³ /с	%	м ³ /с	%
Обь						
Фоминское	-	-	2750	12,2	-	-
Барнаул	-	-	3750	11,7	-	-

Новосибирск	Е	-	-	4000	17,7	-	-
	З	-	-	3500	11,9	-	-
Колпашево	Е	-	-	12500	10,0	4500	32,8
	З	-	-	11500	7,3	3500	37,5
Белогорье		25000	8,5	-	-	11000	45,0
Салехард		33000	8,0	-	-	12000	41,0
Лена							
Табага		25000	7,0	16000	16,8	-	-
Кюсюр		115000	1,2	75000	4,9	-	-

1.5. Руслообразующие наносы

Изменение крупности механического состава руслоформирующих наносов зависит от: величины продольных уклонов, морфологии русла и днища долины, гидравлической сортировки наносов; особенностей поступающего в русло материала. Два первых фактора определяются гидравлическими характеристиками потока, третий зависит от геолого-геоморфологических условий долины и особенностей поступления материала в реку.

На Оби состав руслообразующих наносов песчаный. Верхний участок реки от слияния рек Бии и Катунь до устья Чарыша характеризуется наиболее интенсивными изменениями крупности слагающих русло грунтов. Наиболее распространенным типом наносов являются средне-крупнозернистые пески. Их доля составляет около 40% площади русла. Количество мелких песков незначительно, однако их доля увеличивается к устью Чарыша [Русловые процессы..., 2001].

Ниже устья р. Чарыша, где река течет вдоль высокого уступа Степного плато, наблюдается уменьшение диаметра наносов. Вдоль коренного берега Степного плато зачастую наблюдаются выходы глинистых пород. Средние значения диаметра наносов на участке составляют 0,28-0,35 мм [Русловые процессы..., 2001].

Ниже г. Барнаул на распределение донных отложений оказывает большое влияние строение Приобского плато слева и правобережных террас справа. К нижней части участка возрастает роль переменного подпора от Новосибирского водохранилища, распространяющийся на значительное расстояние. Крупность наносов на участке в среднем составляет 0,28-0,30 мм и не меняется ниже Тарадановской излучины [Русловые процессы..., 2001].

После сооружения Новосибирской ГЭС (1959 г.) регулирование стока, и интенсификация глубинной эрозии в нижнем бьефе, землечерпание, а также разработка карьеров привели к существенному изменению состава донных наносов. На приплотинном участке глубинная эрозия привела к тому, что большая часть песчаных наносов была вымыта, в следствие чего на дне обнажились коренные породы. Этот

процесс распространился вниз по течению (вплоть до устья р. Томи). Это изменило распределение наносов и привело к общему возрастанию их крупности. Это прослеживается по всему руслу, включая второстепенные острова. В результате чего средний диаметр наносов увеличился в 2 раза (0,4-0,6 мм).

Ниже устья р.Томи происходит общее уменьшение диаметра наносов вниз по течению, по сравнению с участком Новосибирск-устье Томи. В 66% основных рукавов донные наносы мелко-среднезернистые (0,20-0,30 мм).

Руслообразующие наносы Оби и рукавов ее раздвоенного русла различны. В едином русле Оби наиболее распространены мелко-среднезернистые пески (0,20-0,30 мм). Реже встречаются среднезернистые (0,30-0,40 мм) и тонко-мелкозернистые пески (0,14-0,16 мм). Первые распространены в основных рукавах одиночных разветвлений, вторые – во второстепенных.

На Малой Оби по сравнению с единым руслом Оби происходит некоторое уменьшение крупности руслообразующих наносов. Это обусловлено большей разветвленностью русла и расщеплением стока в русловых разветвлениях и его отвлечением в пойменные протоки. Широко распространены алевриты (0,05-0,10 мм), встречаются мелкозернистые пески (0,16-0,20 мм), реже тонкозернистые (0,10-0,14 мм) и среднезернистые (0,30-0,40 мм) пески.

Горная Обь отличается более укрупненным составом руслообразующих наносов, что объясняется наличием правого коренного берега. Широко распространены мелко-среднезернистые (0,20-0,3 мм) и среднезернистые (0,30-0,40 мм) пески. На отдельных локальных участках с максимальными скоростями течения наблюдаются средне-крупнозернистые (0,40-0,60 мм) пески, в левобережных маловодных рукавах могут встречаться алевриты (0,05-0,1 мм) и тонко-мелкозернистые (0,10-0,14 мм) пески.

На р. Лене в районе Каллахского преобладающим типом наносов является песок средне- и крупнозернистый.

От г. Покровска состав донных отложений представлен практически исключительно песчаными наносами; участки с гравием и галькой распространены локально и связаны с местными факторами, обусловленными подмывом рекой террас, сложенных галечниками, или впадением малых рек.

В динамике диаметра частиц, слагающих русло, по длине Лены в ее среднем и нижнем течении наблюдается ряд максимумов, вниз по течению от которых идет постепенное уменьшение наносов. Ниже г. Покровска на удалении в 200 км средний диаметр наносов сокращается в три раза от 0,98 мм до 0,32 мм. На этом фоне имеют место отдельные волны, связанные с укрупнением наносов из-за воздействия местных факторов.

В первую очередь, эти факторы обусловлены морфологическим строением дна русла и дна долины: чередованием расширений и сужений. Связанные с этим флуктуации диаметра наносов могут колебаться от 0,30 мм до 0,80 мм [Русловой режим..., 1976].

На средней Лене ниже Покровска коэффициент неоднородности наносов в русле уменьшается вниз по течению. Подмыв террас ниже по течению уменьшает однородность распределения песчаного материала в русле, но вплоть до Песчаной горы гран. состав слагающих русло наносов становится более однородным. Наиболее распространены здесь среднезернистые пески (до 55% площади русла). Крайне редко наблюдаются пылеватые, тонки и мелкозернистые пески, на их долю приходится не более 10%. Крупнозернистые и гравелистые пески также не имеют широкого распространения (не более 10%). Ниже Песчаной горы и до устья р. Алдана наблюдается увеличение неоднородности наносов. Это связано с постепенным увеличением поступления материала от подмываемых уступов террас, так и воздействием переменного подпора. Ниже устья Алдана гранулометрическая неоднородность наносов увеличивается, чем в среднем течении р. Лены. Это обусловлено влиянием геологических факторов, вызывающих увеличение доли крупных наносов, которые поступают в реку при размыве террас и из правобережных притоков, стекающих с отрогов Верхоянского хребта. Помимо этого, разветвление русла на сложную сеть рукавов и проток приводит к частой смене гидравлических особенностей потока, это приводит к сильной неоднородности в распространении наносов различных фракций [Русловой режим..., 1976].

В 50-60 км ниже устья Вилию наблюдается увеличение среднего диаметра наносов за счет влияния коренного правого берега и выноса в реку крупнообломочного материвала рекой Лямпушкой, что в совокупности приводит к увеличению средней крупности наносов до 1,9 мм, прослеживающийся на протяжении 20-30 км. На этом участке преобладают средне-крупнозернистые и крупнозернистые пески, а также сравнительно широко распространены гравийные и галечные отложения.

Ниже по течению в районе Черпальского узла прослеживается сильное уменьшение среднего диаметра частиц (до 0,40 мм).

После Черпальского узла и вплоть до Жиганска средний диаметр наносов варьирует в пределах от 0,40 до 0,68 мм.

1.6 Устойчивость русел.

Устойчивость русла отражает потенциал реки выполнять работу, выражающуюся в перестроение русловых форм. Данный параметр зависит от динамических характеристик потока, обеспечивающих русловые деформации, и статических характеристик русла, препятствующих трансформации его рельефа.

К настоящему моменту в практике русловедения существует большое количество подходов к формализации устойчивости русла. В.М. Лохтин [1898] предложил в качестве параметра устойчивости русла использовать отношение диаметра частиц (d , мм) к уклону русла (километрическому падению) (H , м/км):

$$L = \frac{d}{H}$$

Однако данный подход ввиду наличия размерности подвержен масштабному искажению. В связи с чем число Лохтина допустимо использовать для сравнения устойчивости русел рек, сопоставимых по размерам (порядку) [Чалов, 2008].

Помимо числа Лохтина используются подходы С.Г. Шатаевой [1969], Ржаницына [1985], Маккавеева [1955], Великанова [1958], Алтунина [1972], Се Дзенхена [Sedimenttation..., 1993], Цянь Нина [1987], Гришанина [1974] и др. Однако ввиду сопоставимых размеров исследуемых в настоящей работе рек допустимо использовать число Лохтина.

На Оби наблюдается постепенное увеличение устойчивости русла вниз по течению (табл. 1.5.1). Наименьшим значением устойчивости характеризуется верхний участок: от слияния рек Бии и Катунь до г.Барнаула. Здесь на отдельных разветвленных участках русло относится к категории неустойчивых. Наиболее устойчивым является русло нижней и средней Оби, где минимальны уклоны водной поверхности. На участке ниже Новосибирской ГЭС и до устья реки Томи произошло увеличение устойчивости русла, что обусловлено укрупнением наносов, вызванным размывами в нижнем бьефе и активными карьерными изъятиями грунта из русла реки.

На верхней Оби наименьшая устойчивость русла наблюдается на первых 25 км реки. Это обусловлено изменением крупности руслоформирующих наносов. Ниже по течению устойчивость плавно увеличивается из-за уменьшения уклона.

Таблица 1.6.1. Показатель устойчивости русла – число Лохтина на Оби [Беркович, Гаррисон и др., 1990; Русловые процессы..., 2001]

Участок	Число Лохтина
Слияние рек Бии и Катунь – устье Чарыша	1,6-1,7
Устье р. Чарыша – г.Барнаул	1,9-5,5
г.Барнаул – г. Камень-на-Оби	5-6
г. Новосибирск – устье р.Томи	6,3
Средняя и нижняя Обь	>6,7

Для реки Лены характерна обратная ситуация по сравнению с Обью – происходит уменьшение устойчивости русла вниз по течению. В районе Каллахского разбоя число

Лохтина имеет значение более 15 [Водные пути, 1995]. Данное значение существенно ниже, чем на прилегающих участках врезанного русла.

От г. Покровска до устья реки Алдана русло преимущественно слабоустойчивое. Среднее значение числа Лохтина составляет 6,35. Минимальные значения составляют 2,4, максимальные достигают 9-10 на участках поступления в русло галечного материала. Если пренебречь локальными участками, на которых высока доля галечных отложений, то величина числа Лохтина чрезвычайно низка. Это проявляется в высокой скорости смещения русловых гряд (до 200-400 м/год) [Водные пути, 1995].

Ниже впадения реки Алдана за счет выноса из него более крупного материала увеличивается диаметр, слагающих дно грунтов. Кроме того, происходит уменьшение уклонов, это приводит к росту устойчивости русла до 7,5 [Водные пути, 1995]. В дальнейшем устойчивость русла снижается за счет уменьшения крупности наносов. Однако к устью Вилюя наблюдается очередное увеличение устойчивости, обусловленное привнесением наносов крупного диаметра. Ниже по течению и вплоть до Жиганска величина устойчивости русла (Л) находится в диапазоне от 3,3 до 9,5 [Русловой режим..., 1976].

1.7. Антропогенное воздействие на русла

Виды хозяйственной деятельности на реках могут проявляться по-разному, вызывая неодинаковые в масштабном плане воздействия на русла в целом и русловые процессы в отдельности. Большая часть антропогенных воздействий в различной степени приводит к нарушениям природного равновесия в бассейне или в русле реки и приводит к трансформации русловых процессов.

Многообразие видов антропогенной деятельности и инженерных сооружений с руслами вызывает необходимость их типизации. В настоящее время предложено несколько классификаций воздействия антропогенной деятельности на речные русла. Первая классификация была предложена Б.Ф. Смищенко [Кондратьев и др., 1982]. Она основывается на выделении двух классов – активные и пассивные. К.М. Беркович [2001] разработал трехуровневую классификацию инженерных сооружений и воздействий. Он рассматривал виды деятельности по распространению воздействия от них на русловые процессы (региональные и местные, по времени воздействия и по знаку направленности (приводящие к аккумуляции наносов или размыву) для каждого вида хозяйственной деятельности или инженерного сооружения. Данную классификацию целесообразно применять при анализе антропогенных воздействий на р. Лене и р. Оби.

Реки Обь и Лена значительно отличаются по степени антропогенной освоенности. Около русла р.Оби сконцентрировано большое количество видов хозяйственной деятельности и промышленных ресурсов, при этом их пространственное распределение

отличается крайней неравномерностью. К регионам с наибольшей антропогенной нагрузкой относятся Алтайский край и Новосибирская область. В пределах Томской области, ХМАО и ЯНАО влияние антропогенной деятельности на русловые процессы многократно ниже и сконцентрирована локально в районах крупных населенных пунктов (г.Колпашево, г.Нижевартовск, г.Сургут, г.Салехард).

Бассейн р.Лены относится к малоосвоенным территориям России. На берегу реки находится малое количество крупных населенных пунктов и объектов инфраструктуры. Большая часть их сконцентрирована от г. Покровска до Кангаласского Камня – в районе г. Якутска.

В таблице 1.7.1 представлены прямые типы взаимодействия инженерных и водохозяйственных сооружений и мероприятий с русловыми процессами на реках Оби и Лене в соответствии с классификацией К.М. Берковича [2001].

Таблица 1.7.1. Виды хозяйственной деятельности на Оби и Лене

Вид воздействия (название сооружения, мероприятия)	Встречаемость на р.Оби	Встречаемость на р.Лене
Плотины гидроузлов (водохранилища)	+ Новосибирское водохранилище	-
Сплошное выправление русел (превращение естественных русел в каналы)	-	-
Мостовые переходы	+ (2 моста в г.Барнауле, 1 мост в г.Камень-на-Оби, 7 мостов в Новосибирске, 1 мост между н.п. Мельниково и Победа, 1 мост в Сургуте (1 проектируется), Проектируемый мост в г.Салехарде)	- (Проектируемый Якутский мост)
Дамбы обвалования	-	+
Спряmlения русла	-	-
Дноуглубление	+ (в районе лимитирующих перекатов)	+ (в районе лимитирующих перекатов)
Русловые карьеры	+ (верхняя и средняя Обь около крупных городов)	+ (в районе г.Якутска)
Прокладка подводных коммуникаций	+ (в районе крупных городов, переходы нефте- и газопроводов в ХМАО и ЯНАО)	+ (в районе г.Якутска)
Отдельные сооружения (выборное выправление)	+	+
Причальные стенки, берегозащитные сооружения	+ (участки размыва берегов)	+ (участки размыва)

	в населенных пунктах)	берегов в населенных пунктах)
Дноуглубление (разработка прорезей по трассам судовых ходов)	+ (в районе лимитирующих перекатов)	+ (в районе лимитирующих перекатов)

Влияние водохранилища. Наиболее масштабное воздействие на русловые процессы оказывают плотины гидроузлов, формирующие обширные водохранилища, которые приводят к кардинальным перестроениям руслового режима в нижнем бьефе и выше водохранилища. На р.Оби располагается одно такое водохранилище – Новосибирское. На Лене гидроузлов нет.

Рост отметок дна выше г. Камень-на-Оби за счет отложения наносов привел к трансформации морфодинамики русла. Наблюдается тенденция преобразования извилистого русла в разветвленное. Отмирающие в прошлом рукава активизировались. Произошла череда спрямлений излучин через ранее заиленные протоки [Беркович и др., 1975, Русловые процессы..., 2001].

Русло р.Оби в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС развивается под влиянием дефицита наносов, регулирования стока и неустановившегося движения потока. После введения в строй водохранилища годовой сток взвешенных наносов уменьшился с 14-20 млн.т. до 4-5,5 млн.т. Из-за этого активизировались процессы размыва в нижнем бьефе. Уже в первые 5 лет функционирования ГЭС на приплотинном участке сформировалась плесовая ложина, имеющая протяженность несколько километров. В среднем за первые 15 лет существования гидроузла на участке протяженностью 26 км от плотины средние глубины возросли с 1,6 м до 2,9 м. Размыв русла сопровождался значительным укрупнением донных наносов, средний диаметр возрос с 0,52 мм до 0,87 мм [Беркович и др., 1981].

Активные направленные вертикальные деформации в нижнем бьефе привели к просадкам уровней в районе Новосибирска. За период 1957 - 1962 гг. скорости понижения уровней составляли 10 см/год; с 1973 по 1997 гг. – 3 см/год; с 1997 г. и по настоящее время понижение уровней малозаметно (около 1 см/год) [Чалов, Павлушкин и др., 2021].

Материал, сформированный в результате размыва русла, создал «волну аккумуляции», которая смещалась вниз по течению. Движение волны аккумуляции завершилось только в 80-х годах [Русловые процессы..., 2001]. Помимо вертикальных русловых деформаций произошла активизация размывов берегов, в первую очередь на приплотинном участке, где скорости размыва достигали 15 м/год [Русловые процессы...,

2001]. На всем участке, в пределах которого наблюдается влияние гидроузла на русловые процессы (от плотины ГЭС до устья р.Томи), наиболее характерными особенностями проявления трансформаций является отмирание второстепенных рукавов, влекущих за собой перестройку систем разветвлений (например, сопряженных разветвлений в пологие излучины).

Другим видом деятельности, оказывающим значительное влияние на развитие русловых процессов, является разработка русловых карьеров по добыче песчаного материала. Данный вид деятельности в масштабах рассматриваемых рек является локальным, однако, способен оказывать значительное воздействие на режим русловых процессов в зоне влияния карьера. Наиболее интенсивная разработка карьеров на Оби и Лене происходит в районе г. Барнаула, г. Новосибирска, ниже устья р. Томи, у г. Нижневартовска, г. Сургута и г. Якутска. Так на 26-км участке Оби в нижнем бьефе к 1973 г. из русла было добыто 18 млн.м³ песчано-гравийного материала, что сопоставимо с величинами размыва русла, обусловленными врезанием русла из-за воздействия гидроузла [Беркович и др., 1981].

Добыча ПГМ способствует размывам русла за счет увеличения местного уклона; просадкам уровней, которые нарушают условия функционирования объектов инфраструктуры; приводят к механическому срыву отстойки. Дополнительные сложности могут возникать при разработке русловых карьеров в районе мостовых сооружений. Так в районе г. Сургута, где осуществление добычи песка способствовало бы изменению положения фарватера и смещения динамической оси потока от судоходных пролетов моста к несудоходным.

На участках рек, протекающих в пределах городских агломераций, формируются новые условия для развития русел и усложняются проявления русловых процессов, оказывающие воздействия на жизнь населения. Даже крупнейшие реки, к каковым относятся Обь и Лена, испытывают сильное воздействие больших городов (Барнаул, Новосибирск, Сургут, Якутск).

Подъемы уровней воды за счет уменьшения живого сечения, которое сопровождается к тому же подпорными явлениями, наблюдается при строительстве «глухих» пойменных дамб на пойме при возведении мостовых переходов. Наиболее ярким примером этого являются мосты в районе городов Барнаула и Новосибирска. В случае реализации проекта Якутского моста со сплошным перекрытием правобережной поймы также произойдут значительные изменения руслового режима в районе возведения перехода через реку.

2. Современные представления о гидроморфологии широкопойменных русел и история изучения рек Оби и Лены

2.1. Гидроморфология как составная часть учения о русловых процессах (русловедении)

При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования: *Чалов Р.С., Камышев А.А. Морфодинамика и гидроморфология речных русел как разделы учения о русловых процессах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2020. — № 6. — С. 844–854.* Объем авторского вклада составляет 40%.

Любая наука имеет свою структуру, разделяется на характеризующиеся собственным содержанием части, которые взаимодействуют между собой, вытекают и дополняют одна другую, определяют познание объекта от частного к общему и, наоборот, от общих законов его развития, эволюции и изменений приходят к частным их проявлениям и закономерностям. Это соответствует одному из основных положений диалектики, которое выражает переход одной из наук в другую, следовательно, как существующую между ними связь, непрерывность, так и различие, дискретность обеих. Подобно тому, как учение о русловых процессах (русловедение) является частью гидрологии рек, изучая механизмы и формы проявления взаимодействия речных потоков и грунтов, слагающих на ложе, и представляя собой завершающее звено в изучении речного стока, само русловедение состоит из нескольких взаимосвязанных разделов [Чалов, Камышев, 2020]. Как и любая наука, русловедение (учение о русловых процессах) имеет предмет, цели, задачи и методы исследований [Чалов, 1992, Чалов, 2008], связи со смежными дисциплинами, характеризуется своей внутренней структурой и обладает собственными законами и терминологией. морфодинамика речных русел достаточно полно изложена в специальных работах [Чалов, 2009, 2011, 2017], в которых даны соответствующие определения, тогда как гидроморфология, несмотря на широкое употребление этого термина и связанных с ним словосочетаний (например: гидроморфологическая теория руслового процесса [20] – название одной из ведущих научных школ в учении о русловых процессах, гидроморфология судоходных рек [19], гидролого-морфологический анализ и т.д.), не получила своего определения. В ряде случаев она рассматривается как синоним морфодинамики, либо как ее составная часть или наоборот – вопросы морфодинамики русел оказываются включенными в гидроморфологию.

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 (рис. 2.1.1) и пространственно-временные изменения этих связей и соотношений. Таким образом, в гидроморфологии намечается четыре основных направления (рис. 2.1.1): гидролого-морфологическое (собственно гидроморфология русел), гидроморфометрическое (гидроморфометрия русел), морфометрическое (морфометрия русел) и гидролого-морфодинамическое (гидроморфодинамика русел). Будучи взаимосвязанными, они имеют прямой выход на прогнозы русловых деформации и вместе с прогнозными оценками, вытекающими из морфодинамического анализа, позволяют предвидеть в определенных временных интервалах в количественном выражении изменения морфологии, динамики и морфометрии русел. В свою очередь, знание возможных изменений в русле, как естественных, происходящих вследствие эволюции русловых форм, изменений стока воды и наносов, так и вызванных антропогенными воздействиями на реки и факторы русловых процессов определяет подходы к управлению русловыми процессами гидротехническими (инженерными) воздействиями на них при обеспечении гидроэкологической безопасности [Чалов, Камышев, 2020].

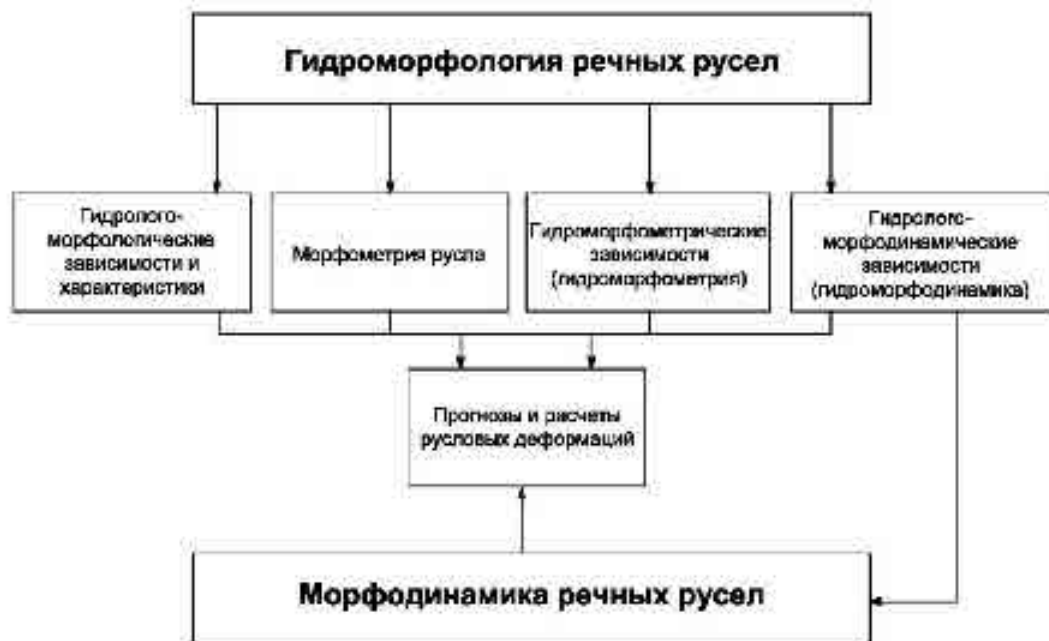


Рис. 2.1.1. Структура гидроморфологии речных русел [Чалов, Камышев, 2020].

Гидролого-морфологический анализ речных русел заключается в выявлении зависимостей между параметрами форм русла π (радиусом кривизны r , шагом L , степенью развитости излучин l/L , где l их длина, разветвленности русла n_0/l , где n_0 – количество островов на единицу длины русла l , размерами островов – их шириной B_0 и длиной L_0 и т.д.) и показателями водности реки. В англоязычной литературе гидроморфологические зависимости, представляющие собой связи между параметрами форм русла и характеристиками речного потока, описываются термином «adjustmens» [Knighton, 2014]: например, с расходами воды – «Channel adjustment» [Чалова (Ермакова), 2010; Merritt, 2003]. Применяя зависимости $\pi=f(Q)$ для данной реки (бассейна или рек региона, однородного по природным условиям) можно оценивать возможные изменения параметров при увеличении или уменьшении водности реки, при разработке многолетних и долгосрочных прогнозов русловых деформаций. Такую же операцию можно делать для многолетних и долгосрочных прогнозов в отношении излучин рукавов реки, водность которых меняется в процессе переформирования разветвлений, отдельно для излучин, находящихся на разных стадиях развития и т.д. Использование таких гидролого-морфологических зависимостей позволяет установить тенденции переформирования русел и экстраполировать их на отрезки времени, в пределах которых ожидается изменение водности реки или стока наносов – ведущих активных факторов русловых процессов [Чалов, 2015]. Применив подобные связи для палеогидрологических построений и восстанавливая очертания древних русел по рельефу поймы, можно

получить по соотношению их параметров с параметрами современного русла изменение средних расходов воды по сравнению с прошлыми эпохами. Это, в свою очередь, открывает путь к разработке перспективных (многовековых) прогнозных оценок трансформации параметров русел при глобальных изменениях природной среды и климата [Сидорчук, 2004].

При построении гидролого-морфологических зависимостей надо учитывать высокую вариабельность параметров русловых форм, изменяющихся в ходе их естественной эволюции (саморазвития). Она определяет некорректность осреднения параметров форм русел в пределах морфологически однородных бесприточных участков. Поэтому представляется более правильным использование модальных значений параметров, и лишь, например, для излучин, находящихся на одной стадии развития из-за их относительной малочисленности и сравнительно небольшого диапазона соотношения l/L , соответствующего каждой стадии возможно использовать средние значения [Чалов, Камышев, 2020].

Разновидностью гидролого-морфологического анализа является построение QI -диаграмм (Q – среднемаксимальный или руслоформирующий расход воды, I – уклон дна долины), позволяющих определять условия формирования русла того или иного морфодинамического типа и возможность его изменения при увеличении или уменьшении водности реки [Чалов и др., 1998; Leopold, 1953].

Гидроморфометрические зависимости (hydraulic geometry [Knighton, 2014, Merritt, 2003]) связывает между собой параметры (ширина, глубина, площадь поперечного сечения) русел и гидравлические элементы потока. Они отражают устойчивые соотношения между ними, сформировавшимися в процессе русловых деформаций и дающими представления о предельной форме сечения русла, к которой стремится система «поток–русло». Они могут устанавливаться для отдельных створов (at-a site hydraulic geometry), так и усредненно для морфологически однородных участков рек и по формам русла (downstream hydraulic geometry). Поэтому сравнение расчетных значений параметров русла (или его рукавов) с фактическими при данных характеристиках водности и стока наносов используется для прогнозной оценки направленности вертикальных деформации. Таковы показатель поперечного сечения подвижного русла К.В. Гришанина [Гришанин, 1972] $M = \frac{h(gb_p)^{0.5}}{Q^{0.5}}$ (Q – среднесуточный расход воды, h – глубина, b_p – ширина русла), значение которого в пределах $0,75 < M < 1,05$ свидетельствует об относительно устойчивом его состоянии, $M < 0,75$ – о размыве русла, $M > 0,05$ – об аккумуляции наносов, и гидроморфометрические зависимости В.Н. Михайлова [1971], в

которых несоответствие расчетных значений фактическим отражает развитие или отмирание рукавов.

Морфометрические зависимости связывают между собой параметры сечения русла (ширину (b_p) и глубину (h)). Один из первых таких показателей был предложен В.Г. Глушковым [1925], который выявил связь средней ширины со средней глубиной:

$$\frac{\sqrt{b_p}}{h} = \Gamma$$

Γ – коэффициент, зависящий от противозерозионной устойчивости грунта. Этот коэффициент, по более поздним исследованиям [Резников, 2007] зависит от стока влекомых наносов и увеличивается по мере его роста ($S_{вл}$) (рис. 2.1.2).

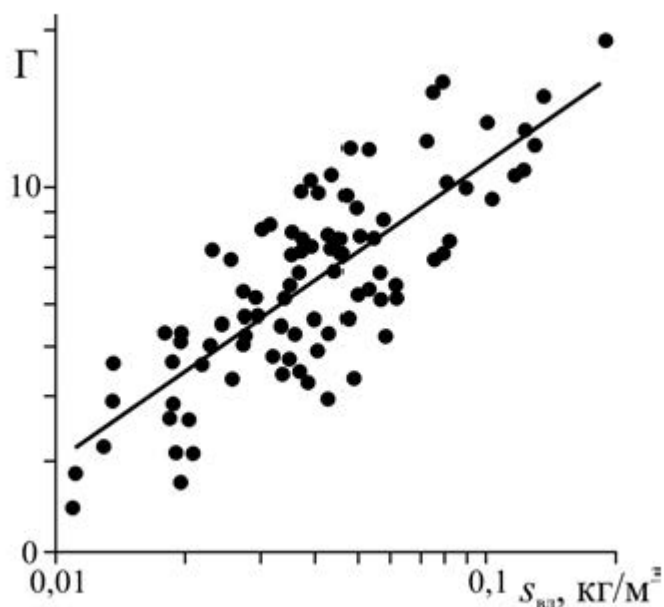


Рисунок 2.1.2 – График зависимости параметра Γ от среднегодовой концентрации влекомых наносов $S_{вл}$ [Глушков, 1925]

Важное значение имеют зависимости h , b_p и b_p/h от водности реки и стока наносов, поскольку позволяет прогнозировать их изменение при увеличении или снижении характеристик речного стока. С.И. Рыбкин [1947], а позднее В.Е. Сергутин и А.Л. Радюк [1984] установили, что ширина h и глубина b_p по-разному возрастают при увеличении расходов воды от межени и половодью (паводку), т.к. их соотношение зависит от формы поперечного сечения русла.

Гидролого-морфодинамические связи устанавливают между параметрами, характеризующими интенсивность русловых деформаций и гидравлическими элементами потока (шириной, глубиной, уклоном, расходом воды, скоростями течения, шероховатостью русла и т.д.) и морфологическими показателями, описывающими формы

русла (излучин, разветвлений и пр.). Скорости размыва берегов увеличиваются по мере роста кривизны излучин, поскольку он сопровождается трансформацией скоростного поля потока и местным увеличением его мощности; одновременно происходит изменение протяженности фронта размыва вогнутого берега, который в начальной стадии находится в нижнем крыле излучины, но по мере ее развития распространяется на всю вогнутость [Куракова, 2022]. Соответственно увеличивается область аккумуляции наносов у выпуклого берега, растет высота прирусловой отмели возле него [Чалов, Камышев, 2020].

К этой же категории гидроморфологии относятся расчеты по эмпирическим формулам. Одни из них опираются на изменчивость глубин русла возле вогнутых размываемых берегов излучин и степень развитости излучин (таковы формулы Н.Е. Кондратьева [1954]), другие [Барышников, 2008; Беркович, 1982; Маккавеев, 1986] – на водность потока, высоту подмываемого берега и/или крупность наносов и соотношения скоростей потока при руслоформирующем расходе и критической скорости потока, при которой начинается размыв отложений, слагающих берег. Е.В. Камаловой [1988] под руководством К.М. Берковича разработаны номограммы, связывающие скорости размыва берегов C_b с уклоном для рек разной водности и их аналитические.

Выводы. Таким образом, Основными взаимосвязанными разделами учения о русловых процессах (русловедения) являются морфодинамика и гидроморфология речных русел; динамика русловых потоков и учение о речных наносах входят в русловедение теми своими частями, которые определяют процессы руслоформирования и без которых невозможно их изучение.

Объектом морфодинамики является морфологическое строение речных русел, их форма и рельеф (морфология), русловые деформации (динамика речных русел) и те изменения в морфологии и динамике, которые происходят при естественных изменениях водности и стока наносов (следствие изменений природной среды и климата), а также антропогенных воздействий на русла и факторы русловых процессов.

Морфодинамика речных русел, в свою очередь, состоит из двух основных структурных подразделов – морфологии и динамики русел, которые дополняются изучением их техногенных (антропогенных) изменений, формирования пойм и пойменных процессов, рассматриваемых как производные русловых процессов, и продольного профиля реки как мегаформы морфологических проявлений, связанных с общими направленными вертикальными деформациями.

Гидроморфология как раздел русловедения разрабатывает гидролого-морфологические, гидроморфометрические, морфометрические и гидролого-морфодинамические зависимости, связывающие параметры форм русла, руслового

рельефа и поперечного сечения русел, интенсивности русловых деформаций между собой и с показателями, характеризующими водность рек, сток наносов, устойчивость русел, гидравлическими элементами потока, его транспортирующей способностью и т.д.

2.2. История изучения русловых процессов Оби и Лены.

Река Обь. Первые самые общие сведения об Оби были получены от русских землепроходцев, использовавших реки для передвижения еще в XVI в. Начало изучения средней Оби положила экспедиция Д.Г. Месершмидта в 1719-1727 гг., во время которой было получено одно из первых описаний реки Оби в ее среднем течении и составлена ее карта [Зайков, 1973, Буренина, 1978]. Во время данной экспедиции по реке осуществлялось подробное описание русла и его визуальная съемка, отмечались излучины и перекаты. Измерения были выполнены до города Нарыма, приведены короткие описания ширины, глубины реки и направлений течения [Земцов, 2007]. Первые данные о верхней Оби относятся к XVI-XVII векам, и совпадают по времени с становлением и укреплением поселения на месте современного Барнаула. Эти данные позволили судить о положении береговой линии, но давали лишь приблизительную информацию о морфометрических характеристиках русла.

Необходимость изучения непосредственно русловых процессов прежде всего определялась нуждами судоходства. Первый опыт связан с прохождением судов по сложным перекатным участкам, однако документальной фиксации и картирования русла не осуществлялось вплоть до середины XIII начала XIX веков.

Обширный материал по эрозионной деятельности Оби получен А. Ф. Миддендорфом (член Санкт-Петербургской Академии наук), в рамках экспедиций, которые осуществлялись с 1842 по 1845 гг. [Зайченко, 1960]. А. Ф. Миддендорф отметил большие разрушения берегов во время половодья, впервые опубликовал данные о разрушениях населенных пунктов, расположенных по берегам Оби.

Значительной вехой в изучении русла Оби в конце XIX века стала экспедиция организованного тогда Томского Округа водных путей, которая осуществила первое описание русла реки. В 1897-1900 гг. «описными» партиями Департамента водных коммуникаций были составлены судоходные карты с детальным гидрографическим описанием берегов и русла реки. В 1910 г. был издан атлас р. Оби от г. Бийска до юрт Тяговых [Зайков, 1973, Буренина, 1978].

В 1915 г. в связи с освоением Нарымского края (северная часть Томской области) Переселенческое управление Сибири организовало экспедиционные работы по его изучению. Участник исследований Д. А. Драницын, изучая почвы и геологические особенности, пришел к выводу о преобладающей роли речной аккумуляции и эрозии в

формировании рельефа Нарымского края, описал многочисленные спрямления речных излучин, образование новых и отмирание старых рукавов реки [Западная Сибирь..., 1963].

Строительство Транссибирского железнодорожного пути послужило катализатором для изучения русловых процессов. Именно тогда начались работы по обстановке фарватера, производству землечерпательных работ, удалению подводных препятствий, опасных для плавания судов камней, карчей и др. [Русловые процессы..., 2001].

Со временем составления первой карты начались относительно постоянные наблюдения за наиболее лимитирующими для судоходства участками, стали составляться с интервалом 10-15 лет лоцманские карты Оби.

Активное изучение русловых процессов на Оби началось с 1950-1960 гг. в связи с интенсивным хозяйственным освоением территории, увеличением численности населения региона, открытием и эксплуатацией нефтегазоносных месторождений, строительством Новосибирской ГЭС, водозаборов и инженерных объектов на берегах, прокладкой через реку коммуникаций. Одно из первых серьезных исследований верхней Оби было выполнено И.Э. Мальбертом [1952], который впервые достаточно детально рассмотрел русловые процессы на верхней Оби и установил, что для реки после слияния Бии и Катуня свойственна двухпотоковая структура течения, показал, что водность каждого потока может сильно варьировать в зависимости от сезона.

В начале 1960-х гг. на Среднюю Обь была организована экспедиция государственного гидрологического института, цель которой заключалась в прогнозировании влияния Новосибирского водохранилища на русловый режим Оби. Выполнив гидролого-морфологический анализа И.В. Попов [1962] смог оценить направленность русловых переформирований, которые будут происходить из-за воздействия регулирования стока Оби Новосибирским водохранилищем, он привел средние прогнозируемые величины плановых деформаций русла.

Работы МГУ на верхней и средней (ниже Новосибирского гидроузла до устья р. Томи) Оби под руководством Н.И. Маккавеева, выполненные в 1961 и 1966-1968 гг., были направлены на типизацию русловых процессов, установление особенностей руслового режима и научное обоснование кардинального улучшения условий судоходства. В ходе многочисленных экспедиций определялась устойчивость русла, отбирались многочисленные пробы донных отложений, производились измерения рассредоточения расходов воды по рукавам. В прикладном плане работы научно-исследовательской лаборатории позволили получить общие закономерности переформирований русла и разработать генеральную схему мероприятий, цель которых заключается в коренном

улучшении судоходных условий. В период с 1961 г. по 1990 г., по рекомендациям МГУ, был обеспечен рост гарантированных глубин в пределах всего участка, что сопровождалось обширными дноуглубительными и выправительными [Русловые процессы..., 2001, Беркович, 1990].

В ходе исследований Института географии Сибири и Дальнего Востока изучена интенсивность и тенденции развития геоморфологических процессов в долине средней Оби, в том числе дана качественная оценка развития русла, предложена морфогенетическая типизация излучин средней Оби [Баженова, 1975].

Проводились исследования русловых деформаций рек Томской области сотрудниками ТГУ начиная с 1950-х гг., проведен анализ интенсивности русловых перестроений средней Оби и ее притоков [Земцев, 1999].

Отдельной вехой в изучении русловых процессов на средней Оби стала публикация монографии «Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна» под руководством Р.С. Чалова [2001]. Данная монография представляет результаты исследований МГУ им. М. В. Ломоносова и Новосибирской государственной академии водного транспорта и др. В книге освещаются общие сведения о бассейне и судоходных реках, гидрологический режим судоходных рек, транспортное освоение рек и современное состояние водных путей, условия формирования русел рек, морфология русел и русловые процессы, изменения русловых процессов под влиянием техногенных факторов, путевые работы и улучшение условий судоходства.

В середине 2000-х лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева были проведены экспедиционные исследования в районе г. Колпашево. Целью их было изучение размыва вогнутого берега крутой излучины, на котором расположена историческая часть города, и обоснование защитных мероприятий. Результатами данных работ, а также компьютерного моделирования, стало обоснование рекомендаций по спрямлению излучины [Чалов, Сурков и др., 2012].

Начиная с 2014 г. и по 2021 г. Московским Государственным Университетом им. М.В. Ломоносова был проведен ряд экспедиционных исследований, в процессе которых проводились измерения расходов воды в рукавах во всех разветвлениях русла Оби для установления их соотношения в конкретную фазу водного режима, отбирались пробы донных отложений для определения устойчивости русла, выполнялось уточнение морфодинамических типов русла всем протяжении Оби. Практическая цель данных исследований заключалась в составлении научно-обоснованных рекомендаций по оптимизации условий судоходства и сбору уникальных данных, закрывающих «белое

пятно» в изученности русловых процессах на Оби [Чалов, Завадский и др., 2021; Чалов, Камышев и др., 2021; Чалов, Завадский и др., 2018; Камышев и др., 2017].

К настоящему моменту комплексные работы, характеризующие гидроморфологию всего широкопойменного русла отсутствуют. До начала экспедиционных исследований МГУ в последние 3-5 лет работы, описывающие русловые процессы на большей части средней и на нижней Оби, практически не проводились (исключением являлись лишь технические отчеты, выполняемые в рамках инженерных изысканий для прокладки трубопроводов под дном реки на локальных участках русла).

Река Лена. Первые сведения о русле р. Лены относятся ко времени начала ее судоходного освоения. Первые рейсы, осуществляемые на постоянной основе, были организованы на Лене в 1862 г. В связи с этим возникла необходимость изучения её русла. Затем была сформирована в 1911 г. Ленская русловая партия, которая занималась описанием реки и условий судоходства. Первая публикация, содержащая описание ключевых перекатов и землечерпательных работ, называется «Общие сведения о реке Лене с притоками...» [Материалы..., 1913]. Помимо русловой составляющей в указанной работе содержатся графики колебания уровней воды, физико-географическая характеристика, приводятся сведения о продольном профиле реки. Однако эти сведения ограничивались г. Якутском и не распространялись даже до устья р. Алдана.

Первая навигационная карта р. Лены в двух томах была создана на основе изучения русла в 1912-1913 гг. [Навигационная карта..., 1916]. Первая монография о водных путях Лены была опубликована в 1938 г. [Водные пути..., 1938]. В этой монографии выполнена оценка водных путей по состоянию на середину 30-х годов, даны характеристики судоходных условий (без учета нижней Лены), описаны пристани и судоремонтные базы. В монографии содержатся обширные материалы в виде карт и схем русла, необходимые работникам водного транспорта для обеспечения навигации в условиях скудной обеспеченности лоцманскими картами, систематическое издание которых началось только с 1938 г. В том же году организован Якутский технический участок, в сферу обслуживания которого входило 2500 км водных путей на реках Лене, Алдане и Вилюе.

К 1950 г. была выполнена полная реконструкция и совершенствование путевой обстановки на Лене, стали развиваться дноуглубительные работы на лимитирующих перекатах. Были установлены гарантированные глубины на Лене от устья р. Олекмы до устья р. Вилюя и ниже по течению. Все эти мероприятия требовали регулярных русловых съемок и анализа русловой обстановки.

Русловые изыскания на Лене до середины XX века были практически полностью производственными. Большие размеры реки и ее расположение в труднодоступных и

малонаселенных районах привели к тому, что река Лена была одной из наименее изученных рек в плане русловых процессов. Только в 1952 г. Г.Е. Чистяков [1952] опубликовал первую научную работу, в которой описывались русловые процессы в районе г. Якутска и давалась оценка влияния на них вечной мерзлоты.

Увеличение транспортной роли Лены и экономическое развитие Якутии и других районов северо-востока страны потребовал коренного улучшения трассы судового хода по всей реке, в особенности на отдельных наиболее затрудненных участках. Последние практически все расположены в пределах широкопойменного русла средней и нижней Лены, где максимальна ширина пояса руслоформирования и минимальна устойчивость русла [Русловой режим..., 1976].

С начала 1960-х гг. изучением русловых процессов Лены занимался Новосибирский институт инженеров водного транспорта. Также с 60-х годов систематически осуществлялись съемки и промерные работы силами изыскательских партий Якутского района водных путей ФГБУ «Ленводпуть».

Исследования НИЛ Эрозии почв и русловых процессов на Лене начались на средней и нижней Лене в 1969 г. Сотрудники лаборатории периодически выполняли исследования на наиболее проблемных Якутском, Покровском, Усть-Алданском узлах [Русловой режим..., 1976]. В первые 15 лет руководителем работ был профессор Н.И. Маккавеев. К первоначальным задачам лаборатории относилась разработка комплекса мероприятий по улучшению условий судоходства на Лене в среднем и нижнем течении. Впоследствии география работ лаборатории была расширена, исследования выполнялись от г. Покровска до с. Жиганска зачастую с многократной повторностью и продолжаются в настоящее время.

На рубеже XX-XXI вв. особое внимание специалистов МГУ было сконцентрировано на Якутском узле, что обусловлено активными проявлениями негативных форм проявлений русловых процессов на данном участке реки. Так был создан проект берегозащитных сооружений в районе поселка Нижний Бестях, проводятся работы по снижению негативных явлений в районе Якутского водозабора, ведутся работы по оптимизации судоходства [Чалов, 2019; Завадский, 2019, 2020].

Можно выделить два обобщающих, обширных по объему, опубликованных труда по итогам исследований русловых процессов в пределах широкопойменного русла. Первым является публикация в ВИНТИ монографии «Русловой режим средней и нижней Лены» подготовленная в МГУ в 1976 г. В этой работе обобщаются выполненные в 1969-1954 гг. исследования лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева. Рассматриваются условия формирования русла, характер и

морфология русла и поймы, подробно описываются русловые процессы и приводятся выводы, позволяющие улучшить условия судоходства. Второй обобщающей работой является монография «Водные пути бассейна Лены», выпущенная 1995 г. В этой монографии выполнены описания всех судоходных рек Ленского бассейна в том числе и самой р.Лены. Дан анализ морфологии русел и русловых процессов, детальные характеристики отдельных рек и их участков.

По итогам производственных и научных исследований русла Лены подготовлено большое количество научных статей. В них рассматриваются опасные русловые процессы в пределах пойменных массивов [Андросов, Завадский, 2014]. Выполнены оценки сложности русловых процессов для обеспечения условий судоходства [Чалов и др., 2018]. Детально описаны русловые процессы в пределах Покровско-Якутского узла [Чалов и др., 2012, 2016, 2019].

В литературе рассмотрены также результаты ряда исследований прикладного характера, в которых описывается реакция русла на строительство инженерных сооружений (водозаборных сооружений [Владиминова, 2020], опор линейных сооружений [Христофоров и др., 2017] и т.д.). Отдельное внимание, ввиду высокой прикладной значимости для судоходства, в научных исследованиях уделено лимитирующим перекатам [Голубцов и др, 2021, Чалов, Кирик и др., 2014].

Опубликованные в научной литературе исследования по русловым процессам р.Лены отличаются высокой неравномерностью. Большая часть публикаций посвящена участку реки от Покровска до Якутска.

3. Морфодинамическая типизация русел рек Оби и Лены

3.1 Основные существующие типизации русел и оценка их применимости к широкопойменным руслам.

В настоящее время существует большое количество типизаций русел, которые базируются на ряде признаков [Чалов, 2008]: устойчивости русла, при этом учет морфодинамики во внимание не принимается; степени развития форм грядового рельефа; особенностей морфологии перекатов; кинематики водного потока, и особенностей транспорта наносов; морфологии русел рек и вида горизонтальных переформирований.

Классификации, основанные на устойчивости русел, базируются на факторах, имеющих совокупную характеристику интенсивности переформирований русла. Эти классификации преимущественно не применяются без учета морфологии и динамики русел. Такие классификации разрабатывались М.И. Львовичем [1938] на основе числа Лохтина; М.А. Великановым [1958]. Подобная классификация предложена Н.И. Маккавеевым [1971], в последствии она была развита Р.С. Чаловым [1979. 1997, 2000].

Альтернативные критерии оценки устойчивости были сформулированы З.И. Гринбергом [1950], С.Т. Алтуниным [1962], А.В. Караушевым [1975].

Классификации, в основе которых лежат разновидности грядовых аккумулятивных форм русел, в наиболее общем виде основываются на выделении плесовых и перекатных участков, формирование которых обусловлено транспортом руслоформирующих наносов.

К настоящему моменту имеется значительное количество схем классификации перекатов, в которых типы перекатов выделяются по различным признакам (режим переформирований, сезонные изменения глубины, скорости смещения, размерам, морфологии, генезису и т.д.). К такой классификации следует отнести классификацию, предложенную Росгеном [1994] и еще рядом авторов.

В основе четвертой группы классификаций лежит кинематика потока, которая базируется на продольном уклоне русла. Гидравлический режим рек варьирует в значительных пределах в зависимости от уклона, он определяет особенности взаимодействия русла и потока, что в конечном счете выражается в многообразии условия развития руслового рельефа, а также транспорта наносов. Впервые данные классификации, основанные на отличиях равнинных и горных рек, были предложены В.М. Родевичем [1931]. Впоследствии С.Т. Алтуниным и Н.И. Маккавеевым [1955] обосновали выделение трех классов речных русел: равнинных, полугорных и равнинных.

Дальнейшее развитие эти подходы получили преимущественно на горных реках, которые имеют наибольший диапазон уклонов водной поверхности.

Пятая группа классификаций основывается на различиях рек по их морфологии и особенностям плановых деформаций русел. По сути данные классификации являются морфодинамическими или гидролого-морфодинамическими [Чалов, 2008]. Первая подобная классификация русел рек была предложена К.И. Россинским и И.А. Кузьминым [1947, 1958], в рамках которой были выделены прямолинейные, извилистые и разбросанные русла.

В последствии О.В. Андреев и И.А. Ярославцев [1958] выделили немеандрирующие, меандрирующие, реки с островной формой движения наносов, блуждающие. Однако в данной классификации разветвленные русла являются лишь частным случаем немеандрирующим рек.

Л. Леопольдом и М. Вольманом [Leopold, Wolman, 1957], К.В. Гришаниным [1972], Н.А. Ржаницыным [1985], И.В. Поповым [Попов, 1961] разработаны классификационные схемы, базирующиеся на изменениях очертаний русел:

- 1) образование излучин и меандрирование;
- 2) смещение прямолинейных участков рек параллельно самим себе;
- 3) трансформации русел посредством перераспределения стока между рукавами и за счет образования островов;
- 4) блуждающие русла с динамичной трансформацией стока воды между рукавами при неустойчивых грунтах.

К настоящему моменту в отечественной практике русловедения наибольшее распространение получили две классификации типов русел: классификация Государственного гидрологического института (ГГИ) и классификация МГУ им. М.В. Ломоносова, разработанная Р.С. Чаловым.

Морфодинамическая классификация речных русел МГУ в целом представляет систему блоков (рис. 3.1.1 и 3.2.2), которые соответствует различным формам проявления русловых процессов и уровням их развития; русловые процессы из предыдущих блоков представляю собой фон процессов руслоформирования, которые соответствуют каждому последующему блоку [Чалов, 2008].

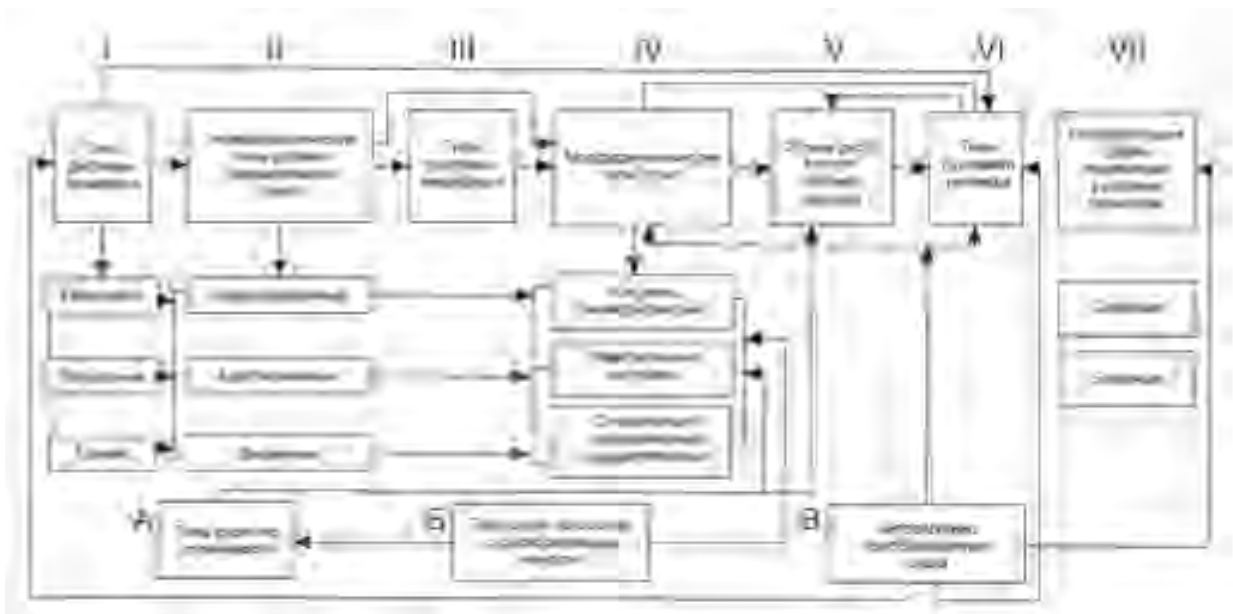


Рисунок 3.1.1. Структура морфодинамической классификации речных русел [Чалов, 2008].

Блок I формируют типы русловых процессов, присущие горным, полугорным и равнинным рекам. Блок II включает в себя «геоморфологические» типы русел – врезанные, широкопойменные и адаптированные, их выделение основано на геолого-геоморфологических факторах, определяющих русловые процессы. Блок III отвечает за макроформы русла, которые напрямую не связаны с плановыми русловыми деформациями, превышают максимальные размеры форм русла при современных гидрологических условиях: величина стока, крупность наносов, ширина русла, но при этом оказывает влияние на развитие. Блок IV представлен непосредственно морфодинамическими типами русла: разветвления, излуины, прямолинейные участки. Блок V включает формы русла, осложняющие основные представленные ранее типы русла и составляющие русловые образования второго и третьего порядков. Блок VI образуют русловые деформации и формы рельефа, вызванные грядовым движением наносов, или скульптурные, сформированные нервностями коренного ложа реки. Блок А дает оценку интенсивности русловых переформирований по устойчивости русла. Блок Б описывает русло по характеру руслообразующих наносов, вызывающих отличия в динамике и морфологии русла посредством их устойчивости и развитости грядовой структуры [Чалов, 2008]. Блок В позволяет учесть нюансы развития русел в условиях антропогенного воздействия.

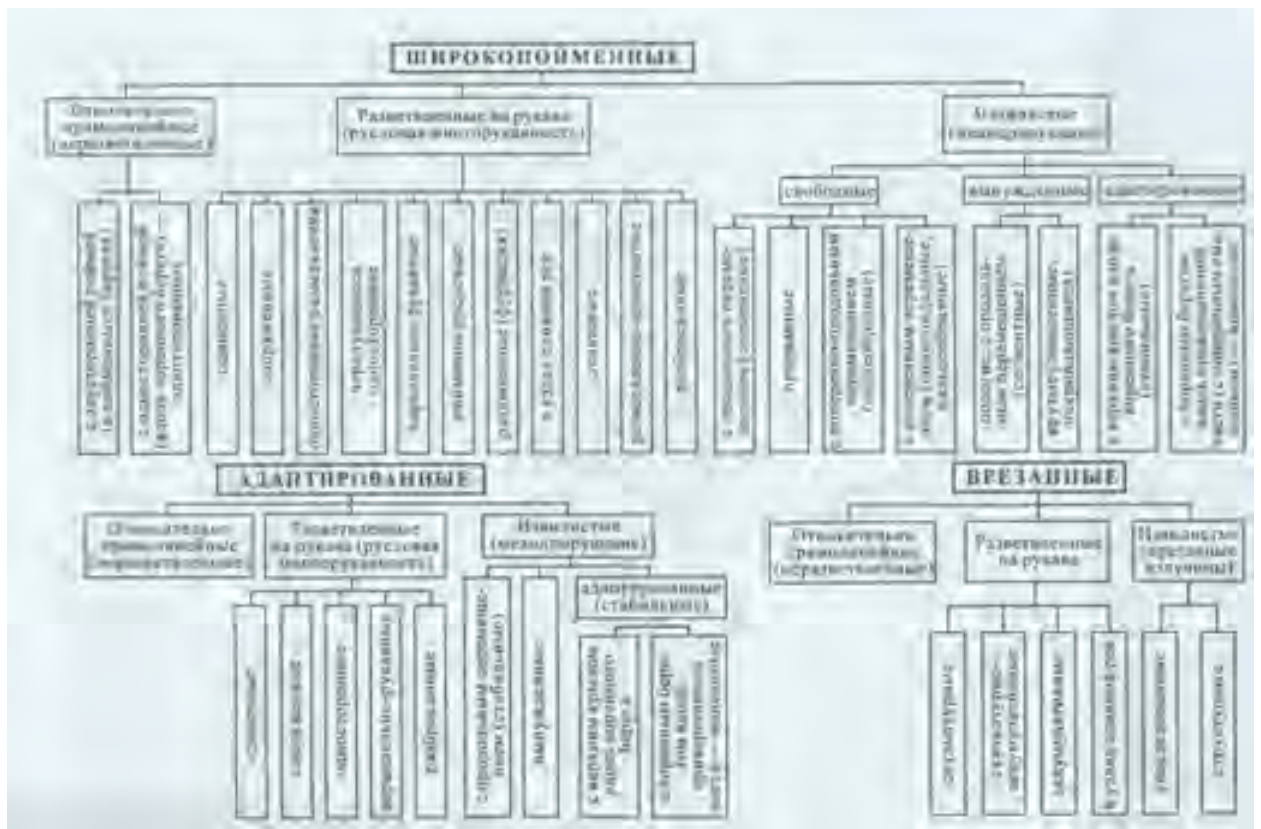


Рисунок 3.1.2. Морфодинамические типы русел равнинных рек [Чалов, 2008].

Классификация русел ГГИ. Типизация русел, созданная Государственным гидрологическим институтом, получила широкое распространение на территории России и вошла в нормативную литературу. В ее основу положена связь между морфологией русла и транспортирующей способностью потока. Первый прототип данной классификации в 1965 г. был предложен И. В. Поповым. Впоследствии ее развивал Н. Е. Кондратьев и др. [1982]. В данной классификации типы русла ранжируются в четкой последовательности (рис. 3.1.3): ленточно-грядовый, побочневый, меандрирование ограниченное, меандрирование свободное, меандрирование незавершенное, пойменная многорукавность, осередковый тип или русловая многорукавность.

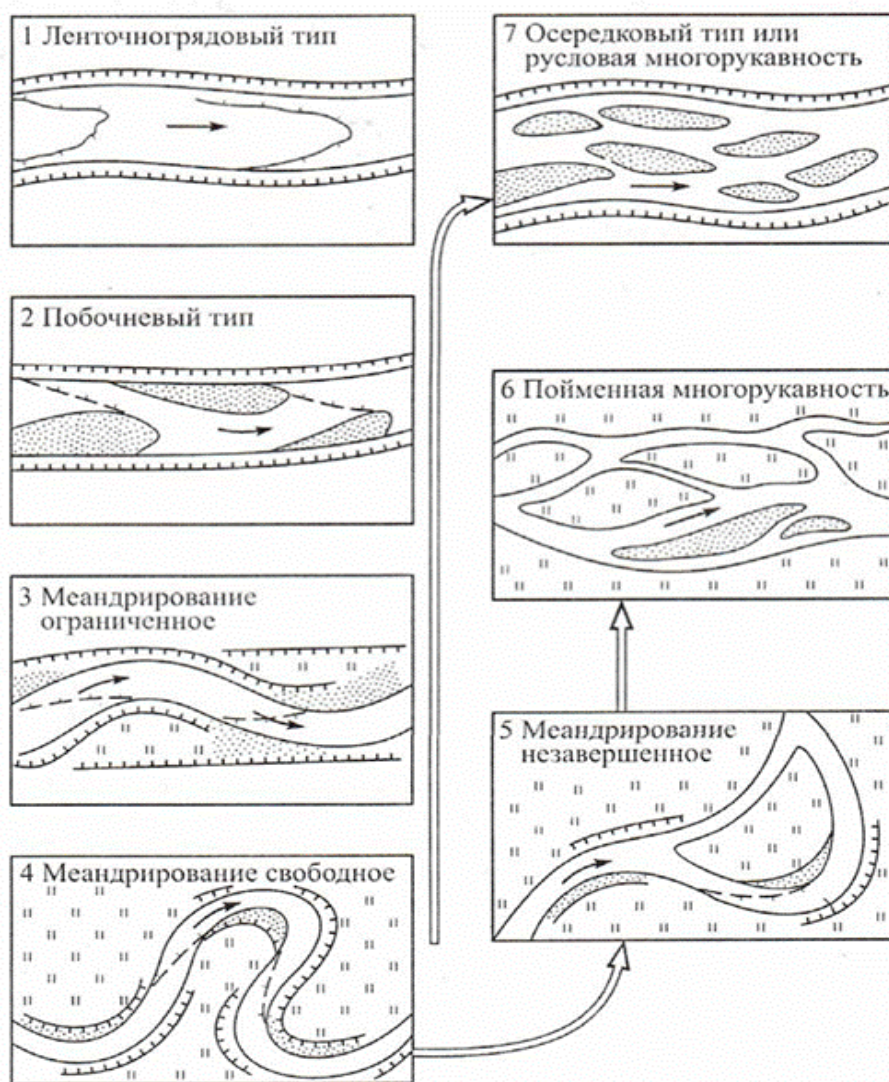


Рисунок 3.1.3. Классификация речных русел ГТИ [Кондратьев и др., 1982].
 Направление стрелок соответствует изменению транспортирующей способности потока.

В классификации извилистость русла является ведущим классификационным признаком, поэтому меандрирующее русло представлено тремя типами. Разветвленные русла охарактеризованы обобщенно. Прямолинейное русло не выделяется.

3.2 Распространение морфодинамических типов русел на Лене и Оби.

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

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*, (1):81–91, 2018. Объем авторского вклада составляет 20%.

2) 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*, (2):92–102, 2021. Объем авторского вклада составляет 30%.

3) 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). / Р. С. Чалов, А. А. Камышев, А. А. Куракова и др. // *География и природные ресурсы*. — 2022. — № 2. — С. 102–113. Объем авторского вклада составляет 25%.

4) Чалов Р.С., Рулева 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*. – М.: Географ. ф-т МГУ, 2018. – Вып. 20. – С. 149-194. Объем авторского вклада составляет 20%.

5) Чалов, Р. С., Завадский, А. С., Камышев, А. А., Куракова, А. А., Михайлова, Н. М., Рулева, С. Н. Гидролого-морфологическая характеристика и реформирования разветвленного русла нижней Оби (в пределах Ямало-Ненецкого АО) // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. — 2021. — Т. 85, № 4. С. 539-553. Объем авторского вклада составляет 20%.

Типизация русла была выполнена на основе лоцманских карт, космических снимков и данных, полученных во время экспедиционных исследований, осуществленных научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева.

Река Обь.

На всём протяжении верхней и средней Оби русло широкопойменное, но его морфодинамические типы очень изменчивы (табл. 3.2.1), причём вниз по течению происходит в соответствии с увеличением устойчивости русла их упрощение. Это проявляется в смене разветвлённого русла, преобладающего на верхней Оби, меандрирующих – на средней. Уже на широтном участке средней Оби (в пределах ХМАО) и на нижней Оби русло становится раздвоенным со своими морфодинамическими типами в основных рукавах.

На верхней Оби от слияния Бии и Катунь до устья р. Чарыша (участок 1 в табл. 3.2.2) распространены наиболее сложные параллельно-рукавные русловые разветвления (рис. 3.2.1,А), образованные вытянутой вдоль реки цепочкой многочисленных небольших по размерам островов. Это тип русловых разветвлений охватывает большую часть участка (64 км), меняясь лишь перед устьем Чарыша двусторонними разветвлениями. Ниже

впадения Чарыша крупные острова образуют односторонние разветвления [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

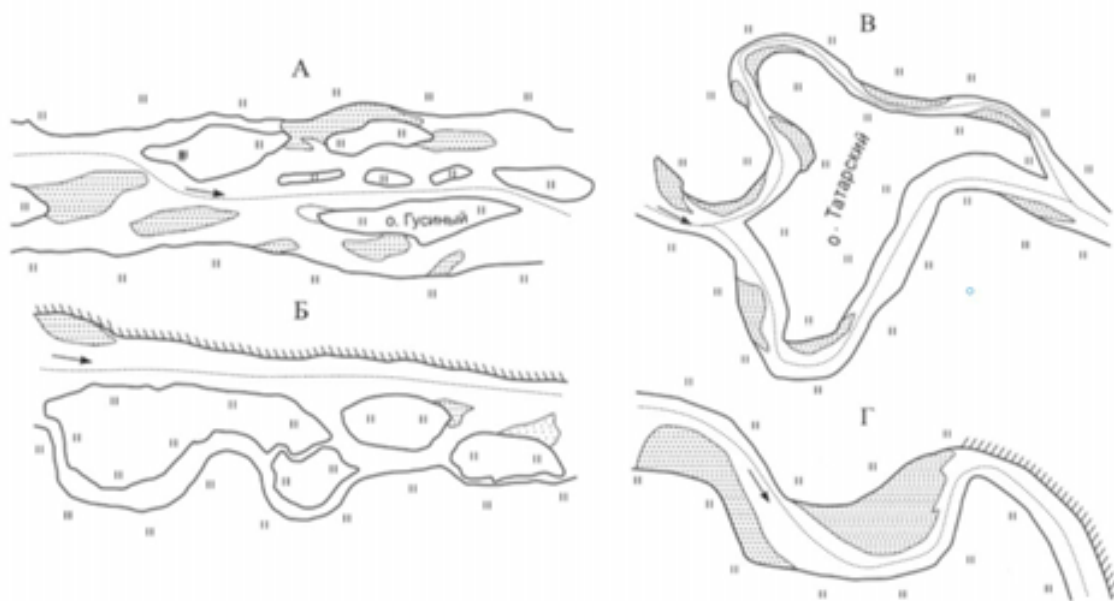


Рисунок 3.2.1 - Основные морфодинамические типы русла верхней Оби (слияние Бии и Катунь – г. Барнаул). Разветвления: А – параллельно-рукавное (Талицкое–Акутихинское); Б – одностороннее, вдоль ведущего берега (ниже устья р. Чарыша); В – пойменно-русловое (Рассказихинское); излучины: Г – свободные (а) и вынужденные (б) [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018]

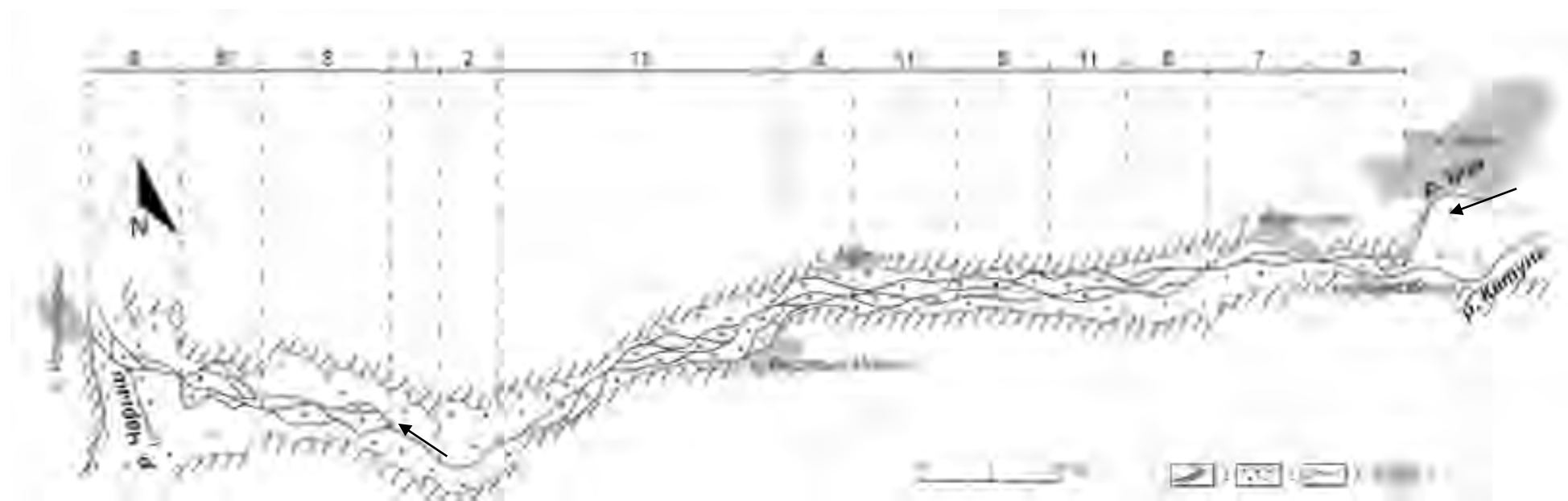


Рисунок 3.2.2 - Морфодинамические типы русла верхней Оби от слияния рек Бии и Катунь до устья р. Чарыша. 1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – русло и основные протоки, 4 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие; Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

Выправление русла обеспечило коренное улучшение условий судоходства на Оби ниже слияния рек Бии и Катунь. Это ускорило уже отчётливо проявлявшуюся естественную тенденцию превращения чередующихся односторонних разветвлений в параллельно-рукавное.

Естественные переформирования русла в нижней части участка 1 также привели к трансформации бывших здесь ранее сопряжённых разветвлений и разветвлений других типов сначала в параллельно-рукавное русло, а затем в односторонние разветвления.

Сложные переформирования характерны для разветвления русла в узле слияния Оби с Чарышом – Усть-Чарышском дельтовом разветвлении, конфигурация которого определяется деформациями русла обеих рек, несовпадением во времени на них половодья, коленообразным изгибом Оби, подходящей к уступу Приобского степного плато и сменой левобережной поймы на правобережную.

Ниже слияния с Чарышом сначала преобладают односторонние (рис. 3.2.1,Б), а затем одиночные разветвления (участок 2, табл. 3.2.1). Наименее устойчиво русло на первых 30 км ниже устья р. Чарыша, располагаясь вдоль неровного в плане, сложенного лёссовидными суглинками, оползневого берега высотой около 100 м, не обеспечивающего устойчивое положение потока вдоль него [Русловые процессы ..., 2001].

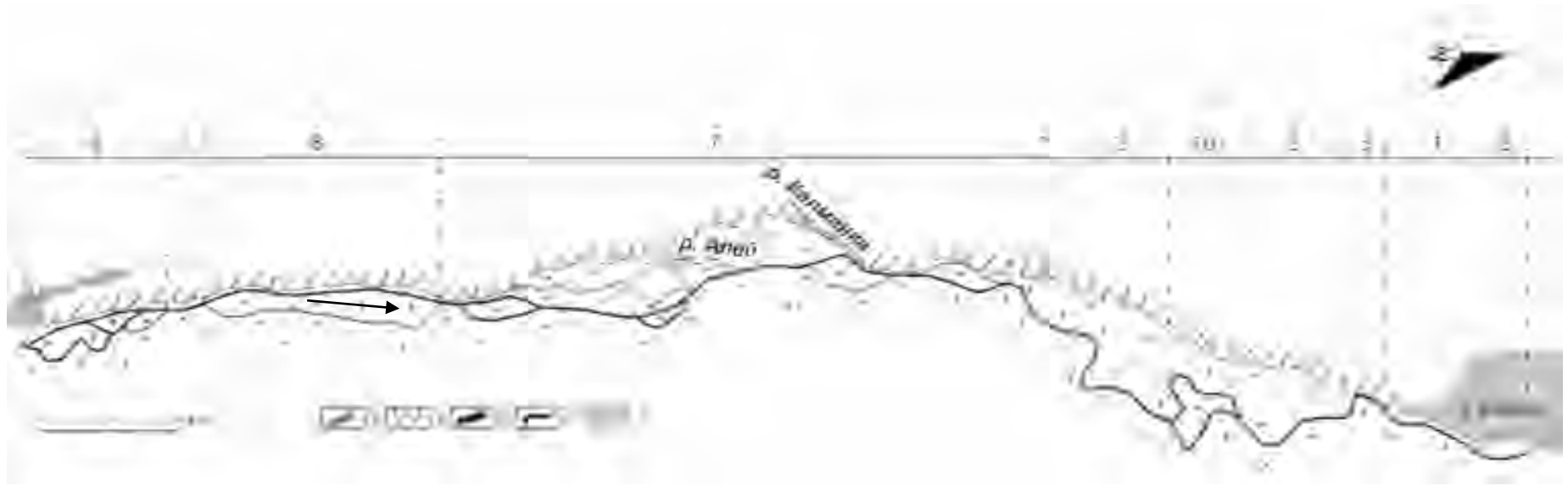
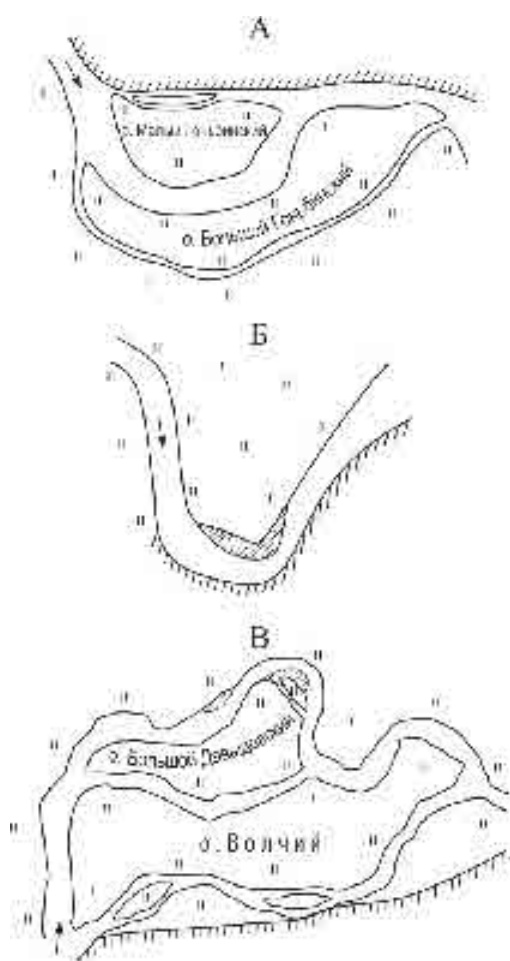


Рисунок 3.2.3 - Морфодинамические типы русла верхней Оби от устья р. Чарыша до г. Барнаула. 1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие;
 Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

Ниже устья р. Алея (участок 3) русло Оби, располагаясь сначала вблизи или вдоль левого коренного берега, представлено одиночными разветвлениями, чередующимися с прямолинейными отрезками, после чего отклоняется в правую часть долины, интенсивно меандрируя.

Ниже по течению русло подходит к левому коренному берегу. Отсюда и вплоть до поворота реки у г. Барнаул формируются чередуются свободные и вынужденные излучины (рис. 3.2.1,Г), разделённые прямолинейными отрезками русла. Формируется первое на Оби пойменно-русловое разветвление (Рассказихинское) (рис. 3.2.1,В).



На участке 4 (табл. 3.2.1) (г. Барнаул–г. Камень-на-Оби, рис. 3.2.5) в верхней его части (до с. Шелаболихи) русло проходит в основном вдоль левого коренного берега (уступы Приобского степного плато), образуя одиночные разветвления веерного типа [Рулёва, 1988; Чалов, 2011], расположенные ниже его мысов (рис. 3.2.4,А). У п. Гоньбы и у устья р. Чумыша русло отходит от него, свободно меандрируя и, возвращаясь к коренному берегу, образует вынужденные излучины (рис. 3.2.4,Б). Ниже устья р. Чумыша угол подхода потока к нему превышает 90°. Возникающий подпор, усиливающийся в половодье сливом воды с левобережного массива поймы – причина образования крупного одиночного разветвления, коленообразного изгиба русла, спрямляющих и рассекающих шпору вынужденной излучины проток.

Рисунок 3.2.4 - Морфодинамические типы русла верхней Оби (г. Барнаул – г. Камень-на-Оби). А – одиночное веерное разветвление (район с. Гоньбы); Б – вписанная излучина (у с. Малышево); В – пойменно-русловое разветвление (ниже с. Тараданово) [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

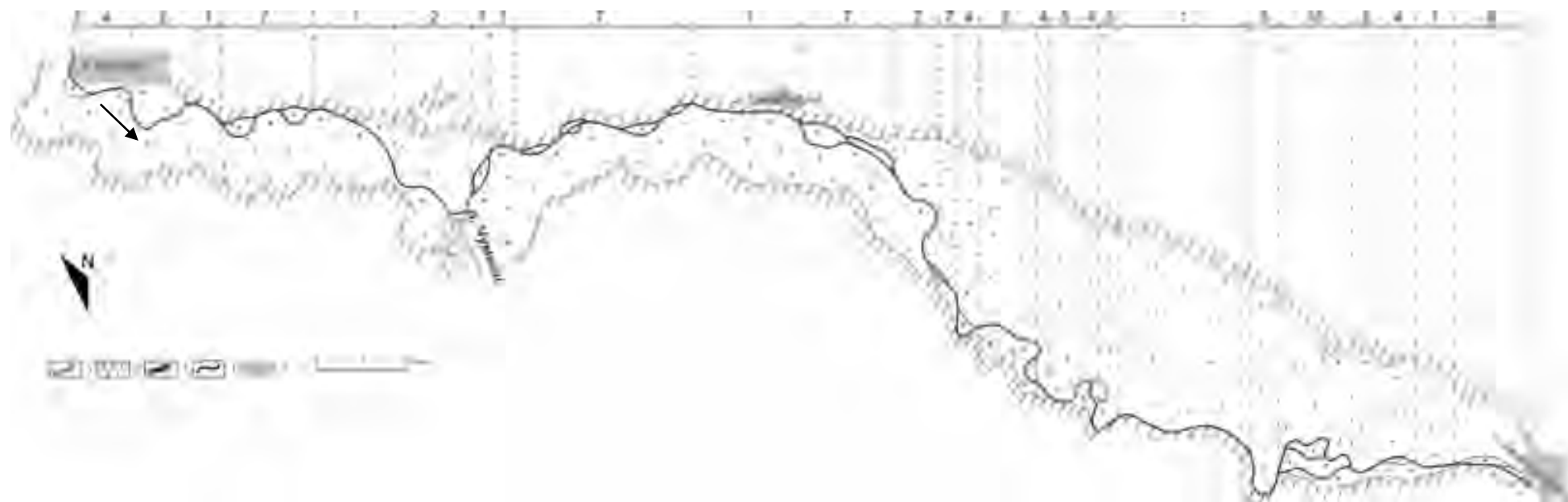


Рисунок 3.2.5 - Морфодинамические типы русла верхней Оби от г. Барнаула до г. Камень-на-Оби. 1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие;
 Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

Ниже с. Шелаболихи (нижняя часть участка) русло по диагонали пересекает пойму, сначала формирует односторонние разветвления, в основном русле которого развиты перекаты с побочными в шахматном порядке и элементарные острова, создающие разветвления второго порядка, затем меандрирует и, подходя к уступам песчаной террасы, образует несколько вписанных излучины, иногда очень крутых ($l/L > 2$).

Ниже очень крутой вписанной Тарадановской излучины ($l/L = 2,12$; показатель формы – отношение радиуса кривизны к стреле прогиба $r/h_n = 0,47$) находится трёхрукавное пойменно-руслевое разветвление (рис. 3.2.4,В).

На Оби от г. Новосибирска и до устья р. Томи (участок 5 табл. 3.2.1, рис. 3.2.6, 3.2.7) преобладают сопряжённые и одиночные разветвления, образованные крупными островами, и прямолинейное неразветвлённое русло, располагающееся вдоль коренного трудно размываемого берега и местами – у песчаных уступов террас.

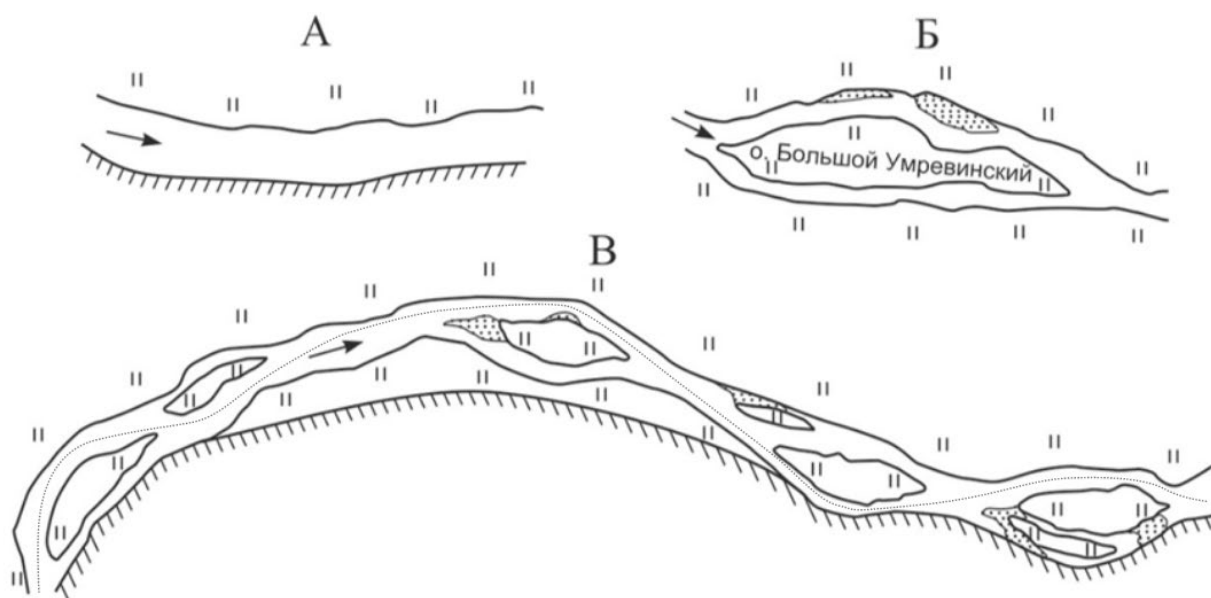


Рисунок 3.2.6 - Морфодинамические типы русла р. Оби на участке Новосибирская ГЭС – устье р. Томи. А – прямолинейное русло (район с. Дубровино); разветвления: Б – одиночное (Елобогатское); В – сопряжённые (Орское и Орско-Борское – Гусиное-Белоглинское) [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

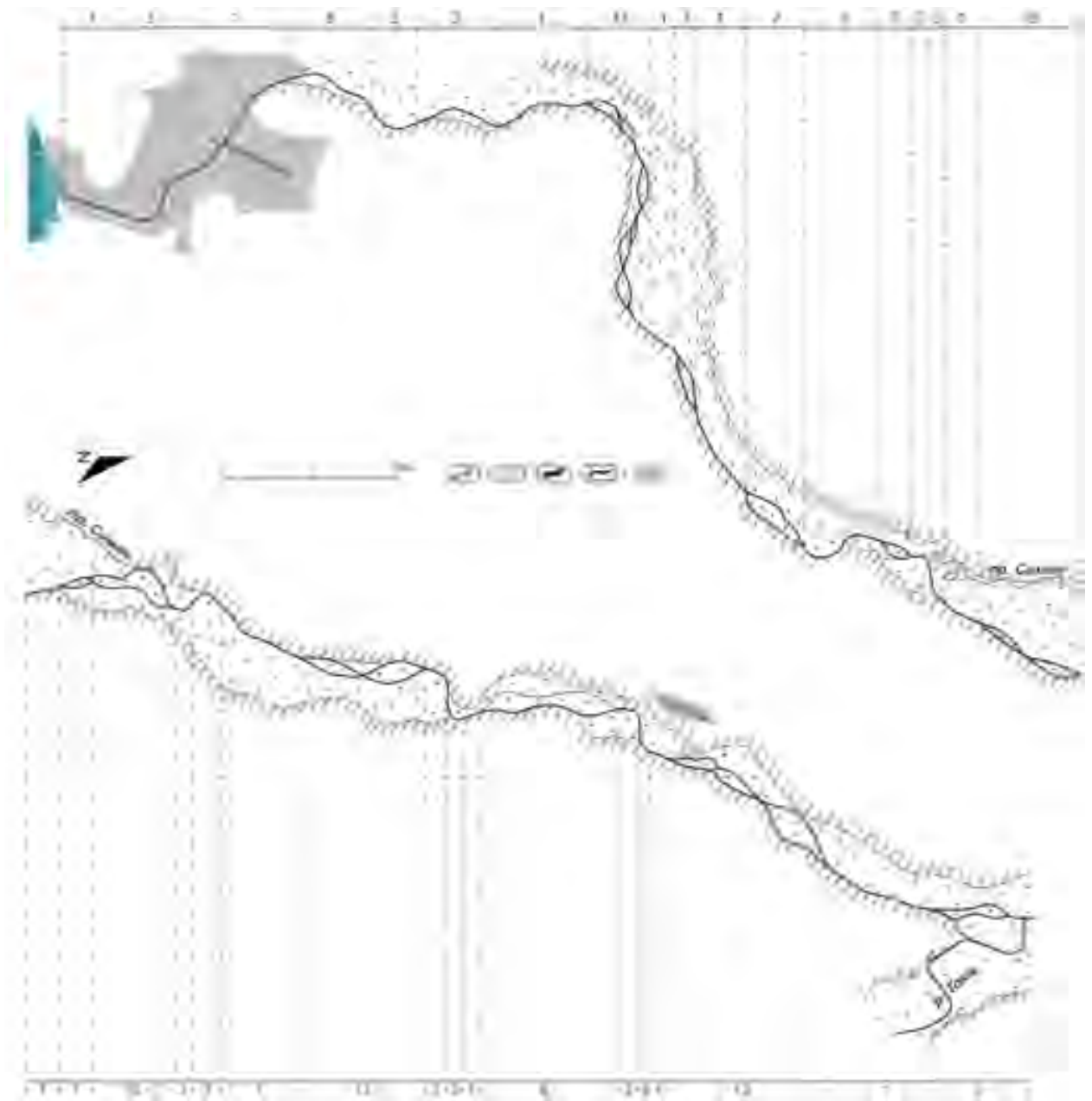


Рисунок 3.2.7 - Морфодинамические типы русла верхней Оби от г. Новосибирска до устья р. Томи.

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие; Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

Этот участок представляет собой нижний бьеф Новосибирского гидроузла, и русловые деформации на приплотинном участке развиваются на фоне продолжающихся со скоростью 1 см/год и вызывающие «посадку» уровня врезания реки (в первое время после создания плотины – на 10-15 см/год). Эти процессы, наряду с уменьшением стока наносов обусловили трансформацию морфодинамических типов русла, и их выделение в настоящее время отличается от произведённого по исследованиям 70-80 гг. XX в. [Беркович, Гаррисон и др., 1990]. На приплотинном участке образовалось прямолинейное русло, прерываемое сопряженными разветвлениями (о-ва Кораблик и Отдыха), сохранившимися вследствие разработки в несудоходных рукавах карьеров ПГС. Ниже по течению сопряжённые разветвления из-за обмеления вторых рукавов превратились в пологие излучины.

На средней Оби (от слияния с р. Томью до с. Соснино (выше г. Нижневартовска) (рис. 3.2.8 и 3.2.9), участок 6 табл. 3.2.1), где река меняет своё направление с северо-западного на западное, несмотря на высокую водоносность и размеры реки (ширина на прямолинейных участках и крыльях излучины составляет от 600 до 1500 м) русло отличается сравнительно небольшим морфологическим разнообразием. Здесь абсолютно преобладает извилистое меандрирующее русло, которое характерно также для рукавов пойменно-русловых разветвлений, вместе с которыми русло этого типа имеет протяжённость 639 км, что составляет 67,3% длины этого участка реки. Наиболее распространены свободные и прорванные излучины; суммарная длина и количество первых, соответственно, 304 и 32 км без учёта излучин рукавов пойменно-русловых разветвлений, вторых – 104 15 км. В пойменно-русловых разветвлениях общее количество свободных излучин рукавов практически одинаково в судоходных рукавах – 28, в несудоходных – 31, т.е. их больше в два раза, чем на всём остальном протяжении участка реки. Среди всех свободных излучин (в том числе в рукавах пойменно-русловых разветвлений) абсолютно преобладают сегментные (их более 70); количество петлеобразных, включая вписанные, сравнительно невелико – их всего 5 в неразветвлённом русле и 2 в рукавах пойменно-русловых разветвлений, хотя в них большинство излучин крутые, со степенью развитости $l/L \gg 1,7$ (L – шаг излучины, l – её длина) [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

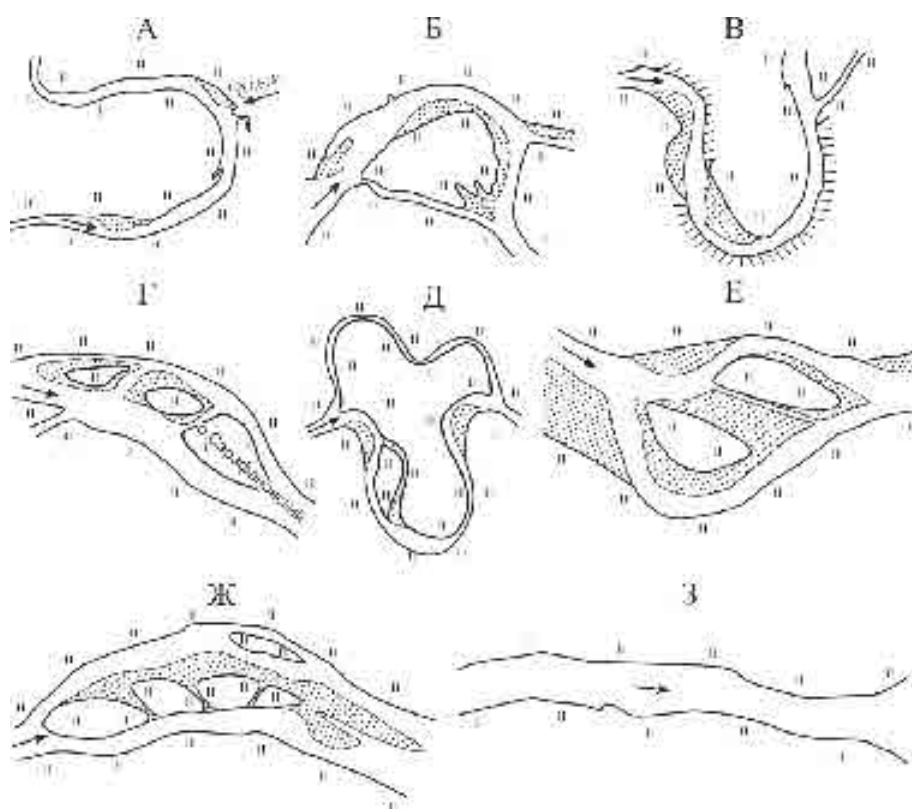


Рисунок 3.2.8 - Морфодинамические типы русла средней Оби. Излучины: А – свободная (Молчановская), Б – прорванная (Коломенская), В – вписанная (Колпашевская). Разветвления: Г – одностороннее (Сарафановское), Д – пойменно-русловое (Кольджа); Е – одиночное (Сахарное), Ж – параллельно-рукавное (Александровское). З – прямолинейное неразветвлённое русло [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Вписанные и вынужденные излучины встречаются редко, причём первые формируются возле уступов правобережных песчаных надпойменных террас, вторые – при подходе реки к левому коренному берегу. Пример вписанной – Колпашевская излучина, вогнутый берег которой с расположенном на нём городом размывается со скоростью от 2,8 до 18 м/год и за 100 лет (с начала XX в.) отступил почти на 1,5 км [Чалов, Сурков и др., 2012].

Среди всех разветвлений половина приходится на пойменно-русловые с меандрирующими рукавами. Их формирование происходит при пересечении под большим углом пойменного и руслового потоков во время фаз повышенной водности. Вместе с прорванными излучинами суммарная длина разветвлений возрастает до 416 км (42,7% от длины участка). Таким образом, если по морфодинамическим признакам абсолютно преобладают на средней Оби излучины русла, то по рассредоточению стока по рукавам велика доля разветвлений [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

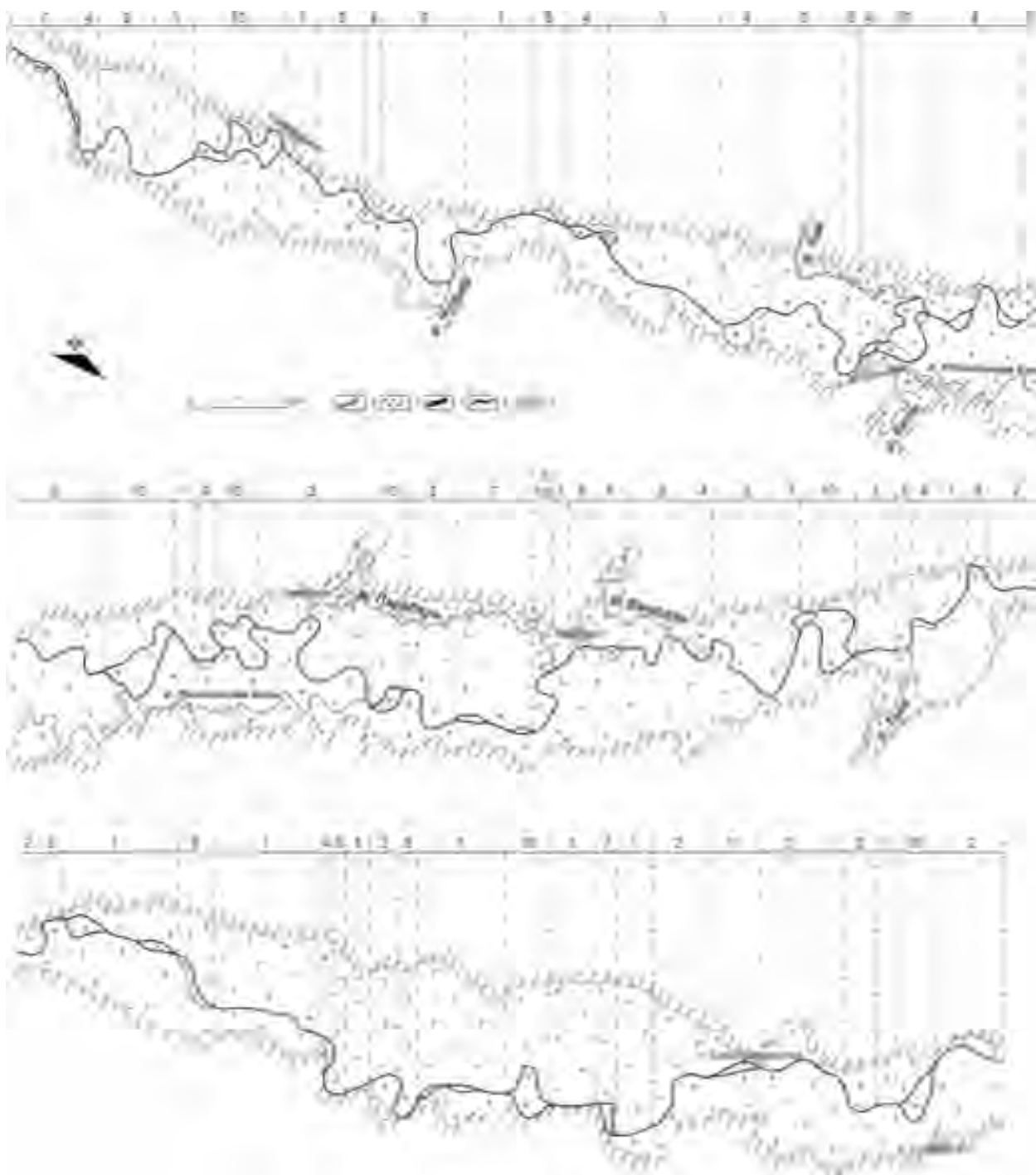


Рисунок 3.2.9 - Морфодинамические типы русла средней Оби от устья р. Томи до границы Томской области с ХМАО.

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие; Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления..

На средней Оби на фоне абсолютного преобладания излучин их доля (в % от длины участков) вниз по течению возрастает от 68% (устье Томи–устье Чулыма) до 84% (устье Васюгана–устье Тыма). Без излучин рукавов пойменно-русловых разветвлений максимум излучин – 63% приходится на участок Чулым–Кеть, меньше всего – 38% Тым–Соснино (30 км выше Нижневартовска), т.е. их количество уменьшается вниз по реке почти в 1,5 раза. Это связано с различными условиями прохождения руслоформирующего расхода: ниже Кети он проходит при затопленной пойме. Пойменно-русловые разветвления (их 11) в основном встречаются ниже слияния с р. Кетью: 33% между устьями Кети и Васюгана, 86% – Васюгана и Тыма. Выше устья р. Кети имеется только одно такое разветвление – Кривошеинское), рукава которого образуют 6 излучин левый и 4 – правый. Также всего одно пойменно-русловое разветвление – Тымское имеется между устьями Васюгана и Тыма. Здесь пойма относительно сужена, что, очевидно, является главной причиной, препятствующей развитию пойменно-русловых разветвлений [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Ниже устья р. Тыма пойма вновь расширяется, и пойменно-русловые разветвления снова являются характерным типом русла (их здесь 4), но размеры каждого из них уменьшаются почти в два раза: если выше по течению длина пойменно-русловых разветвлений составляет 20-26 км, то здесь она всего 10-12 км, а их рукава образуют не более 2-3 излучин.

Среди всех пойменно-русловых разветвлений выделяется по своему генезису Нарымское. Здесь располагается устье Кети Копыловской – пойменной протоки Оби, по которой проходит часть стока р. Кети (остальная часть её стока направляется по Тогурской Кети, образующей устье у г. Колпашево). Смещение излучины Оби у с. Нарыма привело к размыву поймы между Кетью Копыловской и руслом Оби, вследствие чего сток Оби стал частично направляться в нижнюю часть Кети Копыловской, превратив её в рукав пойменно-руслового разветвления – Нарымскую луку (на Оби выше устья Томи аналогичное происхождение имеет протока Симан, представляющая собой нижнюю часть её небольшого притока – р. Уени).

За исключением Нарымского, тяготеющего к правосторонней части дна долины и имеющего своеобразное происхождение, все остальные пойменно-русловые разветвления располагаются на перевалах реки от одного борта долины к другому, имея в целом диагональное направление к её оси. Это обуславливает несовпадение во время половодья пойменного и руслового потоков, что создаёт условия для периодического изменения водности рукавов в многоводные и маловодные половодья – в первом случае преимущественное развитие получает рукав, соответствующий более прямому

направлению потока – длинному перевалу, во втором – более искривлённому и короткому. На это накладываются русловые деформации, приводящие к изменениям угла захода в каждый из рукавов, длин рукавов вследствие развития и спрямления излучин, связанные с продвижением побочной на узлы разветвления и т.д. Происходящие многолетние колебания водности рукавов сопровождаются изменениями параметров их излучин (радиусов кривизны, шагов), вследствие чего они постоянно перестраиваются, приспособляясь к новым гидравлическим характеристикам потока. Поэтому закономерные соотношения между показателями водности и параметрами излучин для рукавов пойменно-русловых разветвлений отсутствуют: в более многоводном рукаве они отражают уже частично трансформировавшиеся размеры излучин, установившиеся в предшествующий период, когда рукав был многоводным, и наоборот [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Снижение доли извилистого русла вниз по течению сопровождается ростом доли прямолинейного неразветвлённого от 7-8% между устьями Томи и Чулыма до 23% от устья Тыма до с. Соснино (30 км выше г. Нижневартовска). Здесь наблюдается наиболее частое чередование типов русла – 19 раз, тогда как выше по течению между устьями основных притоков оно примерно одинаково – 5-6.

Одиночные и односторонние разветвления на средней Оби сопрягаются с прямолинейным руслом, либо располагаются между сериями излучин и пойменно-русловыми разветвлениями, имея протяжённость в пределах от 3 до 11 км. Наибольшая длина участка с одиночными разветвлениями (26 км) – непосредственно ниже слияния с Томью. Однако ещё в середине XX в. здесь было прямолинейное неразветвлённое русло с побочными, последовательно располагающимися возле правого и левого берегов (в шахматном порядке) и имеющими развитые побочные протоки, т.е. имеющие вид осерёдков. Заращение последних после снижения максимальных уровней из-за регулирования стока Новосибирским гидроузлом привело к их заращению и превращению в острова с периодическим увеличением/уменьшением водности рукавов возле них под влиянием надвигающихся на узлы разветвления право- или левобережных побочной и кос.

В сужении долины у с. Александровского находится единственный участок на средней Оби параллельно-рукавного русла протяжённостью 11 км, проходящий вдоль левого коренного берега. Однако здесь отчётливо проявляется тенденция его трансформации в одиночное разветвление, что проявилось в обмелении левого рукава возле верхнего в цепочке образующих разветвление острова.

Отличительной особенностью средней Оби на широтном участке (рис. 3.2.10 и 3.2.11) является раздвоенное русло, начинающееся выше г. Сургута и продолжающееся до устья р. Иртыша, составляя 60% его длины. Основной (большой по водности – до 70% общего расхода воды в реке) рукав в раздвоенном русле – правый, который характеризуется таким же чередованием морфодинамических типов русла, как и русло на выше расположенном участке (до его раздвоения), являясь его продолжением. Вторые рукава в раздвоенном русле – Юганская Обь, Большая Салманская протока и протока Неулёва, образующие, по существу, единую систему, имеют преимущественно меандрирующее русло, в котором единичные разветвления и короткие прямолинейные отрезки занимают подчиненное положение. Протока Неулёва впадает в р. Иртыш, разделяясь на три рукава, устья которых находятся выше слияния с Иртышом основного правого рукава Оби.

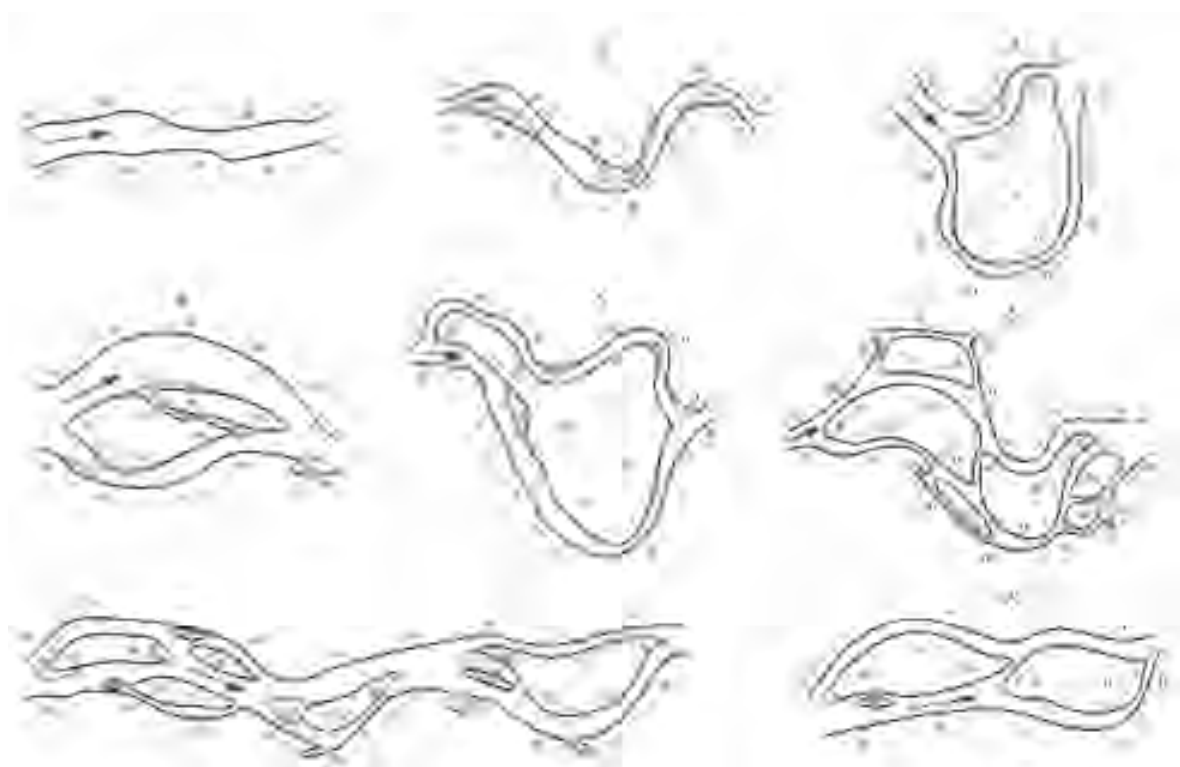


Рисунок 3.2.10 - Морфодинамические типы русла средней Оби (широтный участок) 1 — относительно прямолинейное, неразветвленное; 2 — пологие излучины; 3 — прорванная излучина; 4 — одиночное разветвление (Тармуготовское); 5 — двурукавное пойменно-русловое разветвление (Нижневартовское); 6 — сложное трехрукавное разветвление с меандрирующими рукавами (Кирьяское–Конное); 7 — сопряженные разветвления (Сургутское); 8 — сдвинутое сопряженное разветвление (Коммунарское–Покурское)

[Чалов, Камышев и др., 2021].

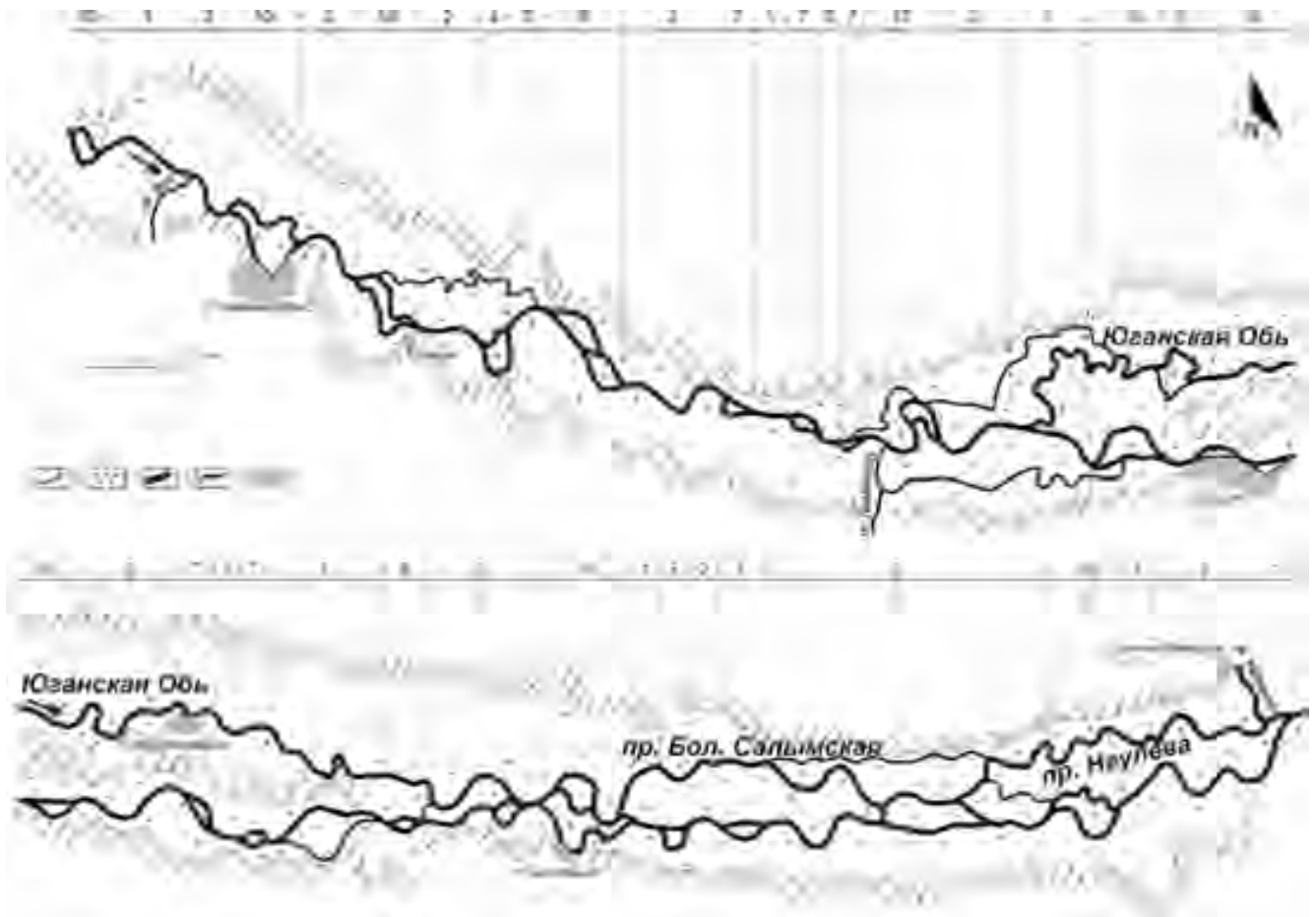


Рисунок 3.2.11 - Морфодинамические типы русла средней Оби от границы Томской области с ХМАО до устья р. Иртыша.

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие; Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

На Оби выше истока Юганской Оби и в основном правом рукаве раздвоенного русла происходит сложное чередование по длине следующих морфодинамических типов русла: относительно прямолинейного неразветвленного, пологих и развитых сегментных излучин, одиночных, пойменно-русловых и сопряженных разветвлений. При этом отвлечение части стока в левые рукава раздвоенного русла практически не сказывается на изменении параметров его форм (излучин, разветвлений), т.к. находится в пределах величины рассредоточения стока по многочисленным пойменным протокам

(ответвлениям): так на участке от с. Соснино (30 км выше г. Нижневартовска) до истока Юганской Оби их суммарная водность составляет 20-25% от общего расхода воды во время половодья, тогда как Юганская Обь на заходе забирает всего 19% и лишь к устью возрастает почти до 40%, в том числе благодаря впадению в неё притока – р. Бол. Юган.

Наиболее распространенным типом русла являются излучины – 46,9% от общей длины русла (табл. 3.2.2), среди которых абсолютно преобладают (93,1%) пологие и развитые. Прорванные излучины (их всего 3) при суммарной длине 19 км составляют 3,2% от протяженности широтного участка средней Оби и 6,9% от длины меандрирующего русла. Излучины имеют в большинстве своем небольшую степень развитости l/L (здесь l – длина, L – шаг излучины) – от 1,1 до 1,5. Прорванные излучины образовались при достижении $l/L > 1,7$. Особенностью многих излучин является наличие островов в их привершинных частях или на верхних или, чаще, нижних крыльях; протоки за этими островами, как правило, маловодные, многие из них пересыхают в межень. Спрявление таких излучин происходит при развитии проток за островами, если l/L излучин превышает значение 1,4.

Разветвленное русло (не считая второстепенных разветвлений на излучинах, рукавов раздвоенного русла и пойменных ответвлений) занимает 41,5% длины широтного участка средней Оби (244 км). Наибольшую протяженность имеют пойменно-русловые разветвления, суммарная длина которых составляет 124 км (21,5% длины русла). На сопряженные разветвления приходится 11,2% длины участка. Их всего три, из которых два – сдвинутые состоящие из двух звеньев, у которых ухвостье верхнего острова и оголовки нижнего заходят один за другой; одно разветвление – Сургутское, наиболее протяженное (31 км), состоит из трех звеньев. Односторонние разветвления занимают всего 8,8% длины широтного участка средней Оби. Пойменно-русловые разветвления, столь характерные для Оби от устья р. Томи до границы ХМАО – Югры (11 форм, 18,9% от общей длины и 56,2% от длины разветвлений) [Чалов, Завадский, Камышев и др., 2018], здесь представлены всего семью образованиями, причем верхние два находятся в переходных условиях от выше расположенного субмеридионального к широтному участку, а три представлены сложными трехрукавными разветвлениями с меандрирующими рукавами, в которых каждый их трех рукав образует серию (от 3 до 5) излучин. Они сформировались из прорванных излучин, старые русла которых продолжают функционировать, а в спрямляющих рукавах развиваются крутые сегментные и петлеобразные излучины. Эта разновидность пойменно-русловых разветвлений встречается только выше раздвоенного русла и на коротком участке между устьем

Юганской Оби и заходом в Большую Салманскую протоку, занимая практически всю его длину (26 км).

Для сдвинутых сопряженных разветвлений характерно стабильное сосредоточение расходов воды в одной системе рукавов (в данном случае – правых). Характерно, что такие разветвления не типичны для других участков верхней и средней Оби [Чалов, Рулева и др., 2018].

В одиночных и сопряженных разветвлениях река, огибая образующие их острова, образует, как правило, изгибы – по существу одиночные или смежные (в сопряженных разветвлениях) пологие излучины; лишь в некоторых из них одни из рукавов, являлись прямым продолжением выше расположенного прямолинейного русла или крыла излучины, имеет прямолинейные очертания. В этих случаях на них, как и на пойменно-русловые разветвления, рукава которых меандрируют, распространяются параметры, применяющиеся для характеристики излучин.

Прямолинейное неразветвленное русло имеет сравнительно малую протяженность – 68 км, что составляет 11% длины участка. Для прямолинейного русла характерны вторичные разветвления, образованные небольшими островами, которые не меняют общей конфигурации русла, а их параметры (ширина, длина) составляет менее 0,4 ширины русла в целом.

Для всей средней Оби на широтном участке характерна многочисленность пойменных ответвлений. Количество пойменных протоков, расчленяющих пойму, коррелирует с шириной поймы: при ее увеличении их количество, а, следовательно, и совокупная морфодинамическая сложность русла возрастает. Среди пойменных протоков выделяются протоки Кирьяс (доля расхода – 16%), Мега – 9%, Локосовская – 12%, Усть-Лагарма – 9%, Пеньковская – 20%. В одном поперечнике через всю пойму от одного борта долины до другого насчитывается иногда до 7 пойменных протоков.

Река Обь после слияния с р. Иртышом (3.2.12) практически двукратно увеличивает свой порядок и водность, переходя в разряд крупнейших рек мира. Однако при этом не происходит усложнения морфологической структуры русла. От слияния с р. Иртышом до границы ХМАО с ЯНАО река четко разделяется на два участка: от устья р. Иртыша до с. Перегребного и от с. Перегребного до границы ХМАО-Югры с ЯНАО. Для первого участка характерна консолидация русла у правого коренного берега. Пойменные протоки и ответвления, расчленяющие широкую левобережную пойму, в основном слабо развиты и значительного рассредоточения стока воды по ним не происходит. Морфодинамические типы русла не отличаются разнообразием; здесь абсолютно преобладают одиночные

разветвления с прямолинейными вставками между образующими их островами (табл. 3.2.3).

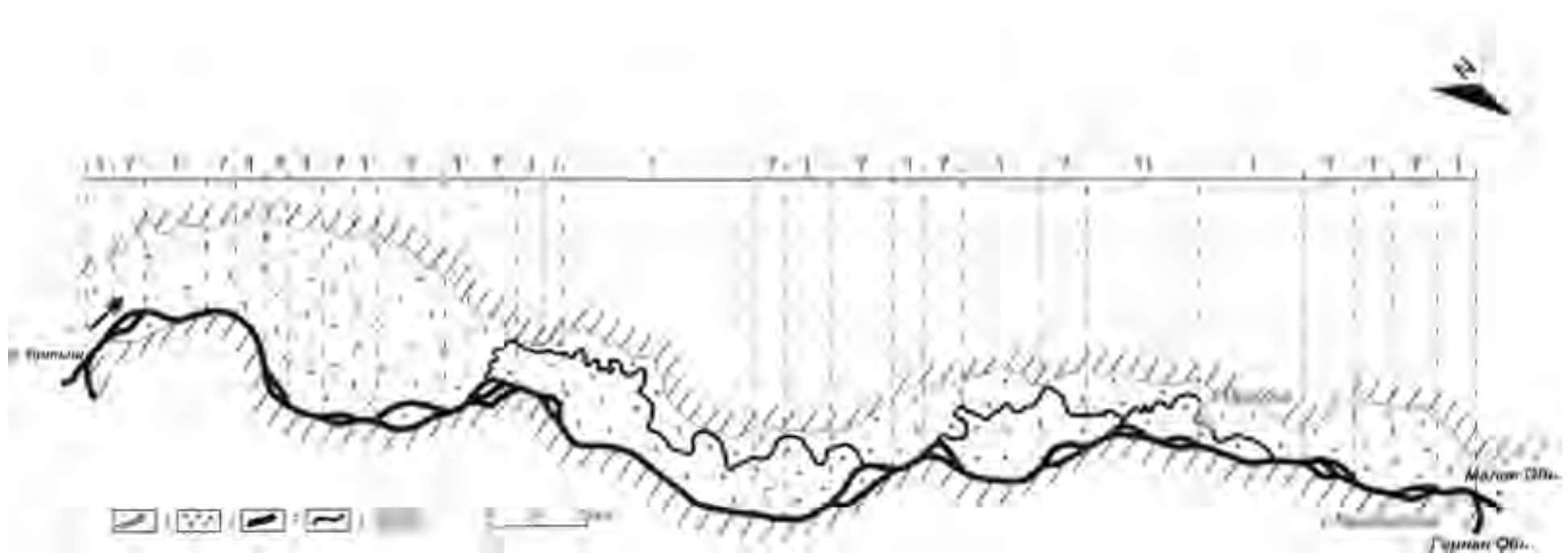


Рисунок 3.2.12 - Морфодинамические типы русла Оби от устья р. Иртыша до с. Перегребного.

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие;
 Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

После поворота реки у с. Перегребного, ниже крутого изгиба правого коренного берега река разделяется на два сопоставимых по водности рукава – Горную Обь и Малую Обь, образующими раздвоенное русло (рис. 3.2.13). Между рукавами происходит перераспределение стока воды через множество пойменных протоков. На 60 км ниже по течению от п. Перегребного от Малой Оби отделяется рукав Тоготская Обь, что приводит к усложнению структуры русловой сети и вторичному раздвоению русла. То же самое происходит и на Горной Оби, от которой ниже с. Полноват отделяется рукав, при соединении с Горной Обью через 50 км получил название Сомутнельская протока. В этот рукав впадает правый приток Оби – р. Казым. Тоготская Обь также образует раздвоенное русло: на 52 км от её устья от неё влево отходит равноценная по размерам протока Нюлас, вновь соединяющаяся с Тоготской Обью на 34 км. В результате река Обь оказывается разделенной на пять субпараллельных рукавов, образующих сложную структуру раздвоенного русла.



Рисунок 3.2.13 - Морфодинамические типы русла от с. Перегребного до протоки Большой Нюрик.

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие; Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 –

дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

Часть пойменных проток (Пырсим и Лапорская) отделяется от Малой Оби и впадают в р. Северную Сосьву, пересекая широкую единую Обь-Сосьвинскую пойму, ширина которой достигает 60 км. Для данного участка реки характерно наибольшее количество пойменных проток и максимальная морфологическая сложность русла.

Русло р. Оби в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа на большем своем протяжении относится к категории раздвоенных, сформированных менее многоводным рукавом – Малой Обью и более многоводным – Большой Обью, а также сравнительно коротким участком раздвоенного русла, представленного протокой Игорской (рис. 3.2.14-3.2.16). Только в 70 км от г. Салехарда оба рукава объединяются в единое русло. Таким образом, р. Обь на территории ЯНАО представляет собой три морфологически отличных друг от друга участка, связанных с различными уровнями русловой разветвленности.



Рисунок 3.2.14 - Морфодинамические типы русла от протоки Большой Нюрик до г.Салехарда

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие; Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 –

дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

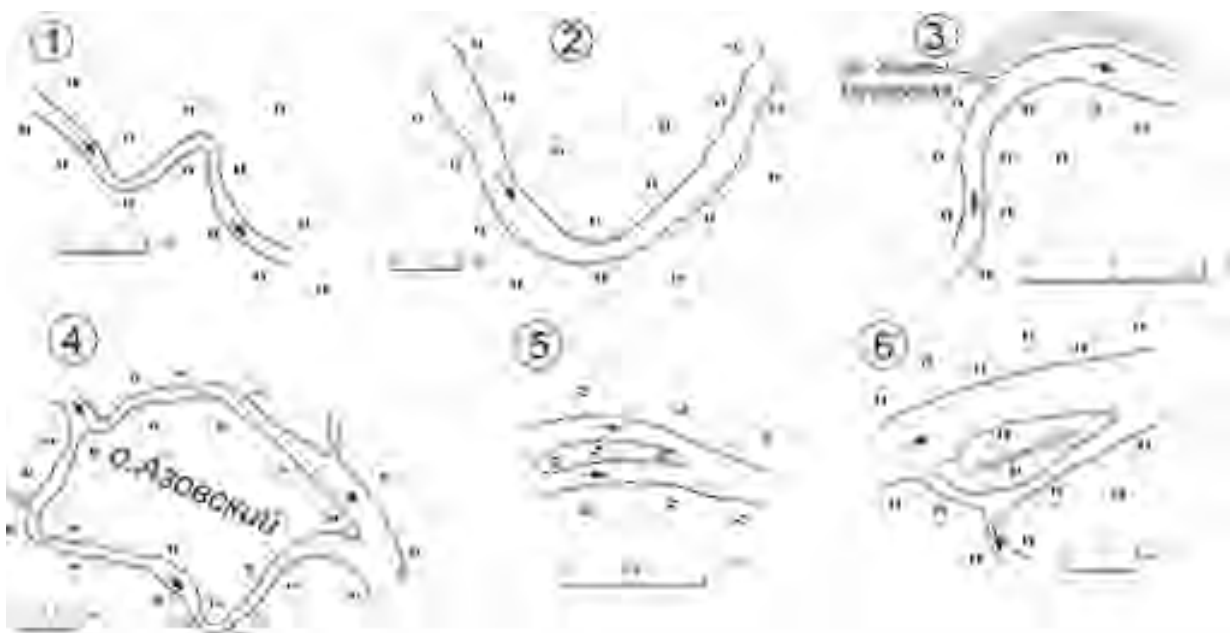


Рис. 3.2.15 - Морфодинамические типы русла Малой Оби. 1 – синусоидальная излучина, 2 – сегментная излучина, 3 – вынужденная излучина, 4 – пойменно-русловое разветвление, 5 – одиночное разветвление, 6 – одностороннее разветвление

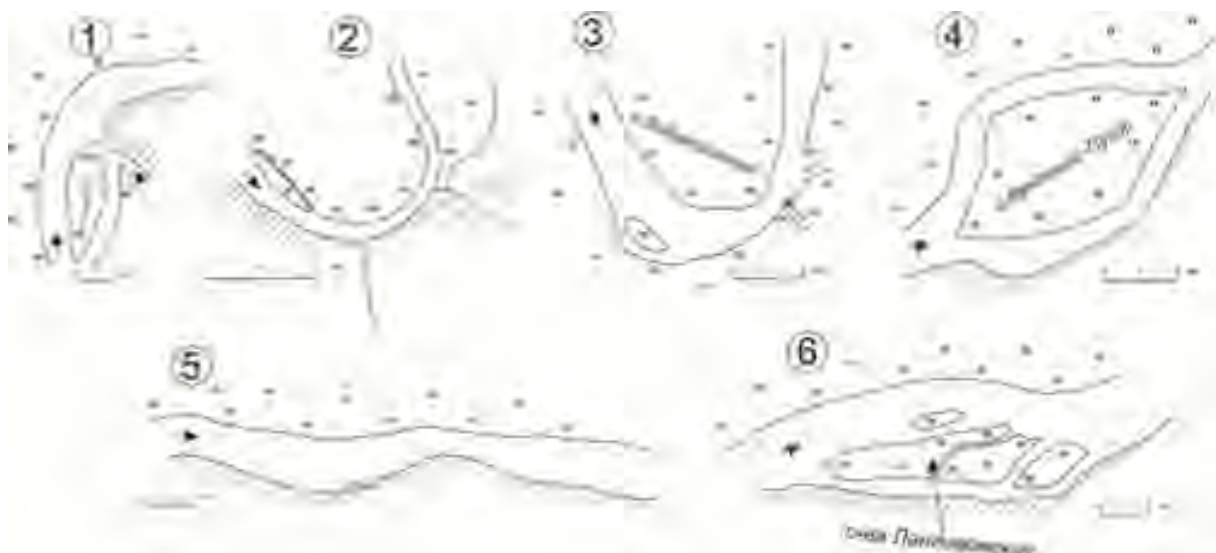


Рис. 3.2.16 - Морфодинамические типы русла Большой Оби. 1 – обтекаемая излучина, 2 – вписанная излучина, 3 – свободная излучина, 4 – одиночное разветвление, 5 – прямолинейное неразветвленное русло, 6 – одностороннее разветвление,

Малая Обь характеризуется свободными условиями развития русловых процессов. Лишь на отдельных коротких участках русло проходит возле левого коренного берега, определяя формирование вынужденных излучин и прямолинейных участков с односторонней поймой. Вне этих участков преобладает меандрирующее (извилистое) русло. Встречаются отдельные разветвления, в том числе пойменно-русловое, а также разделяющие их серии излучин и прямолинейные отрезки. Малая Обь, в свою очередь, разделяется на собственно Малую Обь и ее рукав Малую Горную Обь, образуя раздвоенное русло второго порядка.

На Большой Оби преобладающим фактором, определяющим морфологию русла, является наличие правого коренного берега почти на всем ее протяжении. В связи с этим разнообразие морфодинамических типов русла в данном рукаве реки меньше, чем на Малой Оби.

Гидравлически Малая и Большая Обь связаны слабо. Поперечные пойменные протоки, обеспечивающие перераспределение стока, выражены слабо, встречаются только выше устья р. Сыни и их водность незначительна. Перераспределение стока между основными рукавами происходит за счет слива вод с затопленной поймы. Однако пойменная многорукавность, связанная с Малой Обью весьма значительна, и пойменные протоки иногда достаточно многоводны, расчлениают пойму, забирают из реки или, наоборот, добавляют в нее значительную часть расхода воды.

Анализ распределения морфодинамических типов русла Оби в пределах ЯНАО был произведен отдельно по:

- 1) Малой Оби (табл. 3.2.7);
- 2) Большой Оби (табл. 3.2.8);
- 3) Оби от слияния Малой и Большой Оби до г. Салехарда (табл. 4.2.9).

На Малой Оби наблюдается преобладание меандрирующего русла (28 ед. 40,2%) и частую смену морфологически однородных участков. В трех местах, где река подходит к коренному левому берегу, формируются вынужденные излучины и прямолинейное русло вдоль него. Доля относительно прямолинейного неразветвленного русла на Малой Оби составляет 30,4% при общей длине этого типа русла 87 км. Среди излучин абсолютно преобладают (25 ед.); количество вынужденных излучин незначительно (3 ед.). Степень развитости свободных излучин варьируют от 1,10 до 1,94. Число одиночных разветвлений невелико – 2 ед., что составляет 2,4% длины участка. Два участка с односторонними разветвлениями имеют общую длину 49,5 км (17,3%). Имеется одно пойменно-русловое разветвление - Азовское протяженностью 15,5 км (5,4%), в котором правый судоходный рукав меандрирующий, а левый – протока Качегатка в основном имеет прямолинейное

русло. Перед слиянием с Большой Оби и Малой Оби формируется дельтовое разветвление, длина которого составляет 12 км (4,2%); оно образует «дельту выполнения».

Большая Обь, протекая преимущественно вдоль коренного берега, имеет меньшее разнообразие типов русла и морфологически однородных участков. Вследствие этого возрастает доля прямолинейного неразветвленного русла (местами оно осложняется одиночными разветвлениями второго порядка) – 122 км, что составляет 48,4% от длины участка. Доля излучин равна 20,6% (52 км), их всего 5. Специфическими являются две обтекающие и одна вписанная излучина, что обусловлено наличием коренного правого берега. Обтекающие излучины встречаются только на больших реках, русло которых проходит вдоль пологих, но очень хорошо выраженных, изгибов коренных берегов. На одной из таких излучин – Кушеватской – верхнее и нижнее крылья представляют собой односторонние разветвления, образованные островами Кушеватским и Горкинским. Правый вогнутый берег вписанной излучины представлен уступом надпойменной террасы. Свободных излучин всего 2 на морфологически однородном участке в верхней части рукава, где река еще не подошла к коренному берегу. Доля разветвленного русла составляет 31% (78 км), что сопоставимо с Малой Обью. Одиночные разветвления представлены тремя участками суммарной протяженностью 25 км (9,9%); на два односторонних разветвления приходится 17,9% длины рукава, что эквивалентно 45 км. Перед слиянием с Малой Обью формируется дельтовое разветвление, протяженность которого составляет 8 км (3,2%).

Единое русло ниже слияния Малой и Большой Оби и сохраняется вплоть до устьевой области р. Оби, совпадающей с вершиной дельты. Протяженность его, в пределах исследуемого участка, составляет 68 км (до г. Салехарда). Оно характеризуется минимальным разнообразием типов русла и морфологически однородных участков – всего 6 ед. Прямолинейное неразветвленное русло представлено двумя сравнительно короткими отрезками, суммарная протяженность которых составляет 26 км (38,2%). Процесс меандрирования не выражен, в едином русле расположена лишь одна обтекающая Салехардская излучина, длина которой равна 8 км (11,8%). Наиболее распространены разветвления, их общая длина составляет 34 км (50%). Данный основной тип русла представлены одним односторонним (10 км, 14,7%), одним параллельно-рукавным (19 км, 27,9%) и одним «дельтовым» (при слиянии рукавов раздвоенного русла) разветвлениями (5 км, 7,4%).

Таблица 3.2.1. Распространение морфодинамических типов русла на верхней и средней Оби (до г. Нижневартовска).

Характеристика	Прям. Неразв.	Излучины				Разветвления								Всего
		прорв.	св.	вын.	Σ	дельт.	черед. одност.	сопр.	одиноч.	пойм.- русл.	пар.- рук.	одност.	Σ	
слияние Бии и Катуни – устье р. Чарыша														
длина, км	11	-	-	-	-	9	4	-	10	-	64	10	97	108
% от суммарной длины	10,2	-	-	-	-	8,3	3,7	-	9,3	-	59,3	9,2	89,8	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	-	-	-	-	9,3	4,1	-	10,3	-	66,0	10,3	100	
количество, ед.	1	-	-	-	-	1	1	-	1	-	2	2	7	8
% от суммарного количества форм русла	12,5	-	-	-	-	12,5	12,5	-	12,5	-	25	25	87,5	100
устье р. Чарыша – устье р. Алея														
длина, км	5	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	30	46	51
% от суммарной длины	9,80	-	-	-	-	-	-	-	31,4	-	-	58,8	90,2	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	-	-	-	-	-	-	-	34,8	-	-	65,2	100	
количество ед.	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1	3	5
% от суммарного количества форм русла	40	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	20	60	100
устье р. Алея – г. Барнаул														
длина, км	8	-	39	2	41	-	-	-	13	12	-	-	25	74
% от суммарной длины	10,8	-	52,7	2,7	58,1	-	-	-	17,6	16,2	-	-	33,8	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	-	95,1	4,9	100	-	-	-	52,0	48,0	-	-	100	
количество ед.	2	-	6	1	7	-	-	-	2	1	-	-	3	12

% от суммарного количества форм русла	16,7	-	50,0	8,3	58,3	-	-	-	16,7	8,3	-	-	25,0	100
г. Барнаул – г. Камень-на-Оби														
длина, км	51	44	37	28	109	-	-	-	58	16	-	-	74	100
% от суммарной длины	21,8	18,8	15,8	12,0	46,6	-	-	-	24,8	6,8	-	-	31,6	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	40,3	33,9	25,7	100	-	-	-	78,4	21,6	-	-	100	
количество ед.	7	7	8	6	21	-	-	-	5	1	-	-	6	34
% от суммарного количества форм русла	20,6	20,6	23,5	17,6	61,8	-	-	-	14,7	2,9	-	-	17,6	100
Новосибирск гидроузел – устье р. Томи														
длина, км	74	-	38	38	76	11	-	77	27	10	-	18	143	293
% от суммарной длины	25,3	-	13,0	13,0	25,9	3,8	-	26,3	9,22	3,41	-	6,1	48,8	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	-	50	50	100	7,8	-	53,8	18,8	7,0	-	12,6	100	
количество ед.	9	-	7	8	15	1	-	4	4	1	-	2	12	36
% от суммарного количества форм русла	25,0	-	19,4	22,2	41,6	2,8	-	11,1	11,1	2,8	-	5,6	33,4	100
устье р. Томи – с. Соснино														
Длина, км	160	104	304	62	470	-	-	-	97	180	11	33	321	951
% от суммарной длины	16,8	10,9	32,0	6,5	49,4	-	-	-	10,2	18,9	1,2	3,5	33,8	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	22,1	64,7	13,2	100	-	-	-	30,2	56,2	3,4	10,3	100	
количество ед.	15	15	32	8	55	-	-	-	8	11	1	8	28	98
% от суммарного количества форм русла	15,3	15,3	32,6	8,2	56,1	-	-	-	8,2	11,2	1,0	8,2	28,6	100

Типы русла: прям. неразв. – прямолинейное неразветвлённое; излучины: прорв. – прорванные, св.-свободные, вын. – вынужденные и вписанные; разветвления: одиноч. – одиночные; пойм.-русл. – пойменно-русловые, пар.-рук. – параллельно-рукавные; одност. – односторонние; дельт. – дельтовые (в узлах слияния с притоками); черед. одност. - чередующиеся односторонние; сопр. - сопряженные одност. – чередующиеся односторонние; сопр.-сопряжённые

Таблица 3.2.2. Распространение морфологических типов русел средней Оби от с. Соснино до устья р. Иртыша и правых судоходных рукавов раздвоенного русла (без Юганской Оби, Бол. Салманской протоки и протоки Неулева)

Характеристика		Прям. неразв.	Излучины			Разветвления				Всего	
№	Параметр		прорв.	св.	Σ	од.	пойменно-русловые		сопр.		Σ
							двухрук.	слож. трехрук. с меандр.рук.			
1	длина, км	68	19	257	276	52	65	61	66	244	588
2	% от суммарной длины	11,6	3,2	43,7	46,9	8,8	11,1	10,4	11,2	41,5	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	6,9	93,1	100	21,3	26,6	25,0	27,0	100	100
4	Количество, ед.	7	3	37	40	6	4	3	3	16	63
5	% от суммарного количества форм русла	11,1	4,8	58,7	63,5	9,5	6,3	4,8	4,8	25,4	100

Прям. неразв. – прямолинейное неразветвленное; излучины: прорв. – прорванные. св. – свободные; разветвления: од. – одиночные, двухрук.– двухрукавые, слож. трехрук. с меандр. рук. – сложное трехрукавное меандрирующими рукавами; сопр. – сопряженные.

Таблица 3.2.3. Распространение морфодинамических типов русла нижней Оби от устья р.Иртыша до с.Перегребного

Характеристика		Прямо- линей-ное не-развет- влённое	Разветвления					Σ	Всего
№№ п/п	Параметр		Одиноч- ные	Одно- сторон- ние.	Парал— лельно- рукавные	Осерёд- ковое устьевое	Разветвлён- но- извилистое		
1	Длина, км	163	140	-	21.0	3.0	-	164	327
2	% от суммарной длины	49.8	42.8	-	6.4	0.9	-	50.2	100
3	% от длины русла с данным морфодинами-ческим типом	100	85.4	-	12.8	1.8	-	100	-
4	Количество, ед.	15	14	-	1.0	1.0	-	16.0	31
5	% от суммарного количества форм русла	48.4	45.2	-	3.2	3.2	-	51.6	100

Таблица 3.2.4. Распространение морфодинамических типов русла Малой Оби (ПН – прямолинейное неразветвлённое; излуцины: Пр – прорванные, Св – свободные; разветвления: О – одиночные; Одн – односторонние; Пар-рук – параллельно-рукавные; Р-и – разветвлённо-извилистые)

Характеристика		ПН	Излучины			Разветвления					Всего
№№ п/п	Параметр		Пр	Св	Σ	О	Одн.	Пар-рук.	Р-и	Σ	
1	Длина, км	33	-	112	112	18	11	-	21	50	195
2	% от суммарной длины	16.9	-	57.4	57.4	9.2	5.6	-	10.8	25.6	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим	100	-	100	100	36.0	22.0	-	42.0	100	-

	типом										
4	Количество, ед.	4	-	17	17	2	1	-	1	4	25
5	% от суммарного количества форм русла	16.0	-	68.0	68.0	8.0	4.0	-	4.0	16.0	100

Таблица 3.2.5. Распространение морфодинамических типов русла в протоке Большой Нюрик

Характеристика		Прямолинейное. неразветвлённое	Излучины			Всего
№№ п/п	Параметр		Прорванные	Свободные	Σ	
1	Длина, км	19	-	5	5	24
2	% от суммарной длины	79.2	-	20.8	20.8	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	-	-	-	-
4	Количество, ед.	2	-	2		4
5	% от суммарного количества форм русла	50	-	50	50	100

Таблица 3.2.6. Распространение морфодинамических типов Горной Оби (ПН – прямолинейное неразветвлённое; излучины: Пр – прорванные, Св – свободные; разветвления: О – одиночные; Одн – односторонние; Пар-рук – параллельно-рукавные; Р-и – разветвлённо-извилистые)

Характеристика		Пр.	Излучины			Разветвления					Всего
№№ п/п	Параметр		Пр.	Св.	Σ	О	Одн	Пар- рук.	Р-и	Σ	
1	Длина, км	40	32.5	97	129.5	62.5	-	-	-	62.5	232
2	% от суммарной длины	17.2	14.0	41.8	55.8	26.9	-	-	-	26.9	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	25.1	74.9	100	100	-	-	-	100	-
4	Количество, ед.	4	3	12	15	7	-	-	-	7	26
5	% от суммарного количества форм русла	15.4	11.5	46.2	57.7	26.9	-	-	-	26.9	100

Таблица 3.2.7. Распределение морфодинамических типов русла Малой Оби в пределах ЯНАО (ниже протоки Большой Нюрик)

Характеристика		Прям. неразв. ¹	Излучины ²					Разветвления ³					Всего	
№№ п/п	Параметр		вын.	обтек.	впис.	св.	∑	од.	одн.	парал. рук.	дельт.	пойм.-русл.		∑
1	Длина, км	87	7.5	-	-	107.5	115	7	49.5	-	12	15.5	84	286
2	% от суммарной длины	30.4	2.6	-	-	37.6	40.2	2.45	17.3	-	4.2	5.4	29.4	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	6.5	-	-	93.5	100	8.3	58.9	-	14.3	18.5	100	-
4	Количество, ед.	12	3	-	-	25	28	2	4	-	1	1	8	48
5	% от суммарного количества форм русла	25	6.3	-	-	52.1	58.3	4.2	8.3	-	2.1	2.1	16.7	100

¹ прям. неразв. – прямолинейное неразветвленное; ² вын. – вынужденные; обтек. – обтекающие; впис. – вписанные; св. – свободные; ³ од – одиночные; одн. – односторонние; парал. рук – параллельно-рукавные; дельт. – дельтовые; пойм.-русл. – пойменно-русловые.

Таблица 3.2.8. Распределение морфодинамических типов русла Большой Оби

Характеристика		Прям. неразв. ¹	Излучины ²					Разветвления ³					Всего	
№№ п/п	Параметр		вын.	обтек.	впис.	св.	∑	од.	одн.	парал. рук.	дельт.	пойм.-русл.		∑
1	Длина, км	122	-	14	20	18	52	25	45	-	8	-	78	252
2	% от суммарной длины	48.4	-	5.6	7.9	7.1	20.6	9.9	17.9	-	3.2	-	31.0	100

3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	-	26.9	38.5	34.6	100	32.1	57.7	-	10.3	-	100	-
4	Количество, ед.	4	-	1	1	3	5	2	3	-	1	-	6	15
5	% от суммарного количества форм русла	26.7	-	6.7	6.7	20.0	33.3	13.3	20.0	-	6.7	-	40.0	100

Таблица 3.2.9. Распределение морфодинамических типов русла р. Оби от слияния Большой Оби и Малой Оби до г. Салехарда

Характеристика		Прям. неразв. ¹	Излучины ²					Разветвления ³					всего	
№№ п/п	Параметр		вын.	обтек.	впис.	св.	∑	од.	одн.	парал. рук.	дельт.	пойм.-русл.		∑
1	Длина, км	26	-	8	-	-	8	-	10	19	5	-	34	68
2	% от суммарной длины	38.2	-	11.8	-	-	11.8	-	14.7	27.9	7.4	-	50.0	100
3	% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	-	100	-	-	100	-	29.4	55.9	14.7	-	100	-
4	Количество, ед.	2	-	1	-	-	1	-	1	1	1	-	3	6
5	% от суммарного количества форм русла	33.3	-	16.7	-	-	16.7	-	16.7	16.7	16.7	-	50.0	100

Река Лена отличается от Оби меньшим количеством морфологически однородных участков широкопойменного русла – (всего 16), при средней их длине 47,5 км, минимальной – 15,7 км, максимальной 191 км (табл. 3.2.10). Первый короткий участок широкопойменного русла на р. Лене находится в 40 км выше устья р. Олёкмы, представляет собой сложное одиночное разветвление. Ниже г. Покровска начинается широкопойменное русло, протягивающееся вплоть до с. Жиганска. Для всего широкопойменного русла Лены характерно полное отсутствие излучин. Доля относительно прямолинейного неразветвленного русла составляет всего 9,6%. Соответственно, на разветвления приходится 91,4% длины реки. Причем на Лене нет раздвоенного русла и пойменно-русловых разветвлений, т.е. все разветвления являются русловыми.

Прямолинейное русло приурочено к местам сужения речной долины: 40 км выше г.Покровска, у Табагинского мыса и напротив устья р. Вилюя. Для прямолинейных участков свойственна минимальная ширина реки (в среднем 2,2 км).

На параллельно-рукавное русло приходится наибольшая доля от длины разветвленного русла (44,1%). При этом для Лены характерна тенденция к морфологической перестройке сопряженных русел в параллельно-рукавные, которая обусловлена увеличением водности реки в конце XX – начале XXI века [Магрицкий, 2019].

Все одиночные разветвления располагаются в верхней части широкопойменного участка реки, занимая 5,5% длины русла. Чередующиеся односторонние разветвления (2 участка) имеют протяженность 66,7 и 76,2 км. Таким образом на данный тип русла приходится 18,5% длины широкопойменного русла. Доля односторонних разветвлений составляет 4,5%. Этот тип русла развит непосредственно ниже устья Алдана и выше с. Жиганска.

В узле слияния с Алданом сформировалось дельтовое разветвление. Причины его формирования связаны с периодическим возникновением переменного подпора со стороны Алдана. Доля этого разветвления в суммарной протяженности широкопойменного русла наименьшая среди всех типов русла (2,5%).

Характеристика типов русла р. Лены рассматривалась по четырем морфологически однородным участкам: 1) Кыллахский разбой (выше устья р. Олекмы); 2) от Покровска до устья р. Алдана (рис. 3.2.17); 3) от устья р. Алдана до устья р. Вилюя (рис. 3.2.18); 4) от устья р. Вилюя до с. Жиганска (3.2.19).

Каждый участок представлен своим соотношением разветвлениями разного типа. Сложные разветвления на Лене имеют местное название – «разбой». В пределах которых

формируются сложные условия рассредоточенности стока воды и постоянные переформирования русла.

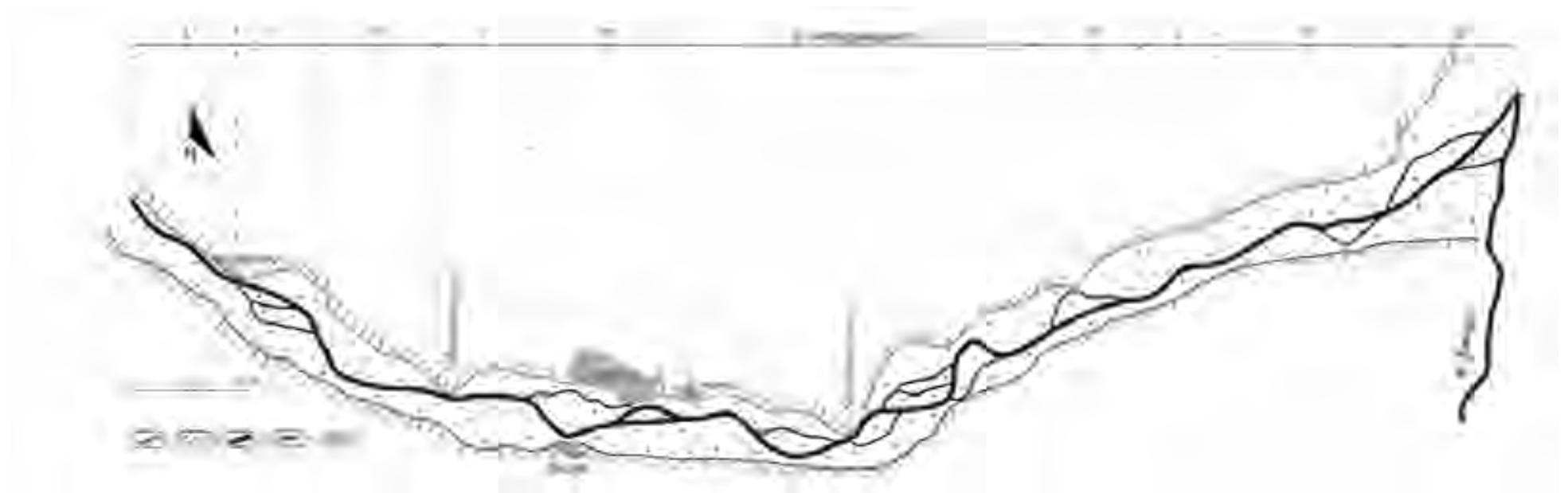


Рисунок 3.2.17 - Морфодинамические типы русла от г. Покровска до устья р. Алдана

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие;
 Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

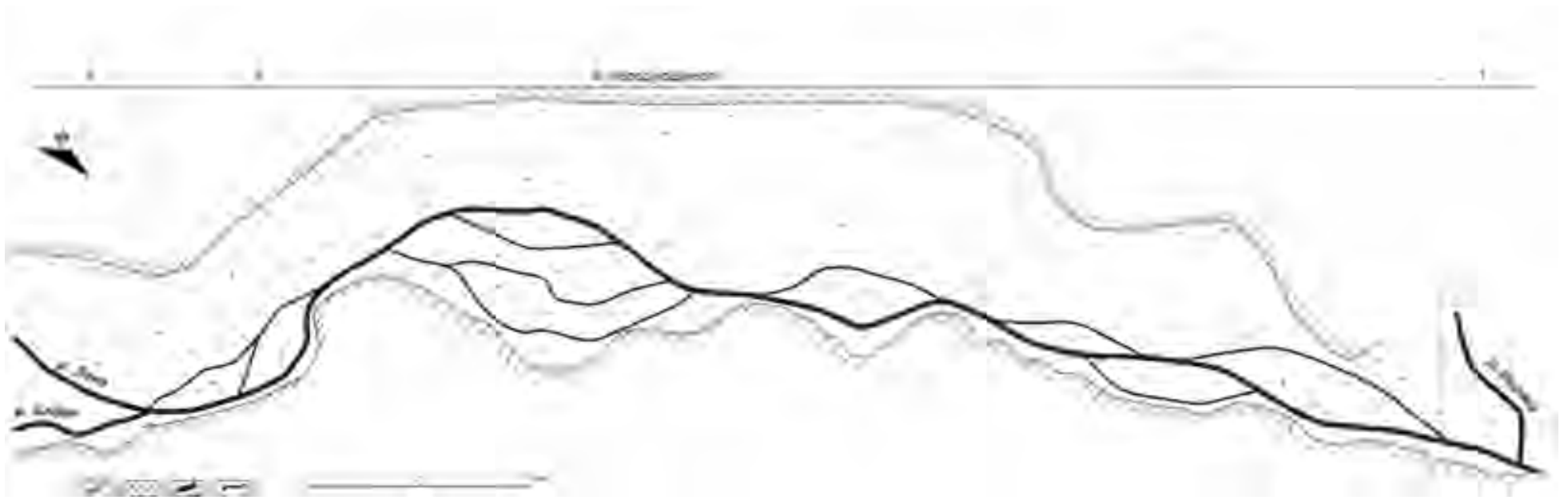


Рисунок 3.2.18 - Морфодинамические типы русла от устья р. Алдана до устья р. Вилюя

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие;
 Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

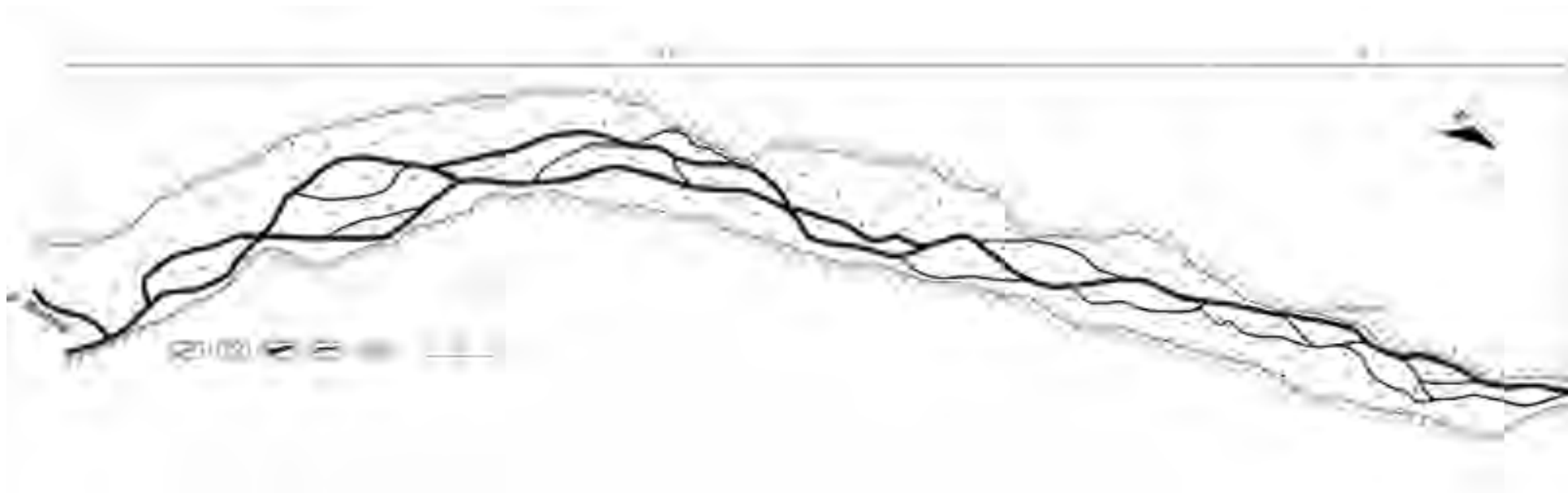


Рисунок 3.2.19 - Морфодинамические типы русла от устья р. Вилюя до с. Жиганска (окончание широкопойменного русла р. Лены)

1 – коренные берега, 2 – пойма, 3 – основное русло, 4 – протоки, 5 – территории населенных пунктов.

1 – прямолинейное неразветвленное русло; Излучины: 2 – свободные; 3 – вынужденные; 4 – прорванные; 5 – вписанные; 6 – обтекающие;

Разветвленное русло: 7 – одиночные разветвления; 8 – односторонние разветвления; 8* - двусторонние разветвления; 9 – дельтовые разветвления; 10 – пойменно-русловые разветвления; 11 – параллельно-рукавные разветвления; 12 – разветвленно-извилистое русло; 13 – сопряженные разветвления.

Таблица 3.2.10. Распределение морфодинамических типов на р.Лене

Характеристика	Прям.	Излучины				Разветвления									Всего
		прорв.	св.	вын.	Σ	дельт.	черед. одност.	сопр.	одинач.	пойм.-русл.	пар.-рук.	одност.	слож. Трех. Рук. С меандр. Рук.	Σ	
Широкопойменное русло р.Лены до устья р.Алдан															
длина, км	54.3	0	0	0	9.6	0	74	23.7	43.9	0	77.3	0	0	219	283
% от суммарной длины	19.2	0.0	0.0	0	3.4	0.0	26.2	8.4	15.5	0.0	27.3	0.0	0.0	77.4	100.0
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	0	0	0	100	0.0	33.8	10.8	20.1	0.0	35.3	0.0	0.0	100.0	
количество, ед.	3	0	0	0	1	0	1	1	2	0	3	2	0	9	13
% от суммарного количества форм русла	23.1	0.0	0.0	0	7.7	0.0	7.7	7.7	15.4	0.0	23.1	15.4	0.0	69.2	100.0

Характеристика	Прям.	Излучины				Разветвления									Всего
		прорв.	св.	вын.	Σ	дельт.	черед. одност.	сопр.	одинач.	пойм.-русл.	пар.-рук.	одност.	слож. Трех. Рук. С меандр. Рук.	Σ	
Широкопойменное русло р.Лены от устья р.Алдан до устья р.Виллой															
длина, км	0	0	0	0	0	31.3	92.4	0	0	48.7	0	35.4	0	208	208
% от суммарной длины	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	32.7	0.0	0.0	17.2	0.0	12.5	0.0	100.0	100.0
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	0	0	0	0	15.1	44.5	0.0	0.0	23.4	0.0	17.0	0.0	100.0	
количество, ед.	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	4	4
% от суммарного количества форм русла	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	25.0	0.0	0.0	25.0	0.0	25.0	0.0	100.0	100.0

Характеристика	Прям.	Излучины				Разветвления									Всего
		прорв.	св.	вын.	Σ	дельт.	черед. одност.	сопр.	одинач.	пойм.-русл.	пар.-рук.	одност.	слож. Трех. Рук. С меандр. Рук.	Σ	
русло р.Лены от р.Виллой до конца широкопойменного участка															
длина, км	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	294,5	95	0	389,5	409,5
% от суммарной длины	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	71,9	33,6	0,0	100	100
% от длины русла с данным морфодинамическим типом	100	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	75,6	24,4	0,0	100,0	
количество, ед.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	3
% от суммарного количества форм русла	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	33,3	33,3	0,0	66,7	100,0

Кыллахский разбой (одиночное разветвление) (рис. 3.2.20) расположен в 26 км выше устья р. Олёкмы, где Лена пересекает небольшое понижение рельефа, которое сложено песчаными отложениями. Долина реки здесь значительно расширяется, русло становится широкопойменным [Чалов, Кирик и др. 2012]. В его пределах правый изогнутый рукав проходит вдоль высокой песчаной террасы, подмыв которой приводит к поступлению в реку большого количества песчаных наносов. Ниже разбоя поток собирается в едином русле, которое уже у г. Олёкминска становится врезанным и таким сохраняется до г. Покровска.



Рисунок 3.2.20 –Кыллахский разбой (сложное одиночное разветвление)

Кыллахский разбой начинается с разделения русла на относительно маловодный рукав - Бердинскую протоку, которая отделяет крупный остров Кыллах от левобережной поймы. Основной правый рукав проходит около коренного правого берега. В средней своей части он разделяется на три рукава, правый из которых формирует вписанную излучину.

Протока Карбыйдахская – крайний правый рукав имеет водность около 30% от совокупного расхода воды реки. Тегинская протока – центральный рукав спрямляет излучину правого рукава. Степень развитости излучины составляет 1,6, что превышает критическое значение кривизны излучины [Маккавеев, 1955].

Покровский разбой и разбой Рссолода (рис. 3.2.21) В пределах рассматриваемого отрезка реки выделяются три морфологически однородных участка: прямолинейное

русло, протяженность которого составляет 23.1 км; одиночное разветвление (15,9 км) и параллельно-рукавное разветвление (25,6 км).



Рисунок 3.2.21 – Общая схема Покровского разбоя и разбоя Рассолода (красными линиями выделено положение динамических осей потока)

Покровский разбой. Покровский узел располагается в начале двустороннего расширения поймы, где река отходит коренного левого берега. Правобережная пойма прорезана многоводными пойменными протоками, ориентированными субпараллельно основному руслу. Основное русло в настоящее время представляет собой четыре расходящиеся веером рукава, находящихся на различном этапе своего развития [Чалов, Кирик, 2015].

Разбой Рассолода. В разбое Рассолода основное русло реки на всем участке характеризуется параллельно-рукавным разветвлением. Правая часть которого проходит вдоль высокой поймы, левая проходит в приостровной части рукава. Ветви потока

разделяются цепочкой небольших островов и осередков, по протокам между которыми на протяжении всего разветвления осуществляется перемещение водных масс.

Положение разбоя связано с зоной подпора от более чем двукратного сужения русла дна долины в районе Табагинского мыса. Кроме того, велика роль смены правосторонних пойменных ответвлений левосторонними, это усиливает влияние пересечения пойменного и руслового потоков [Чалов, Кирик, 2015].

Якутский разбой (рис. 3.2.22) располагается посередине расширения дна долины (от Табагинского до Кангаласского мыса). Пойма реки здесь преимущественно двусторонняя, расчлененная пойменными протоками. Лишь в начале участка наиболее водный рукав находится на расстоянии не более 4 км от уступов Бестяхской песчаной террасы, высота которой превышает 40 м или отклоняется от нее очень узкой полоской поймы. Ниже Табагинского мыса русло следует относить к относительно прямолинейному неразветвленному с шириной примерно 1 км. Левобережная пойма консолидирована, ее расчленяет в тыловой части лишь маловодная Табагинская протока. Правобережная пойма сформирована из нескольких островных массивов, протоки между которыми зачастую обсыхают в меженный период [Чалов, Кирик и др., 2012].



Рисунок 3.2.22 – Общая схема Якутского разбоя

Ниже по течению разбой разделяется на два рукава: левый – Городская протока и правый, забирающий в себя основной сток реки. Между данными рукавами находится островной массив с примыкающими к нему небольшими островами. Правый многоводный рукав разделен небольшими островами на две ветви – субпараллельные

протоки, проходящие вдоль правого берега, а также у левой приостровной части. Левый маловодный рукав (Городская протока) на всем своем протяжении разделяется на две-три протоки и объединяется с правым рукавом уже в пределах следующего разветвления русла около острова Панамарева. Он, в свою очередь делит реку на два рукава: Адамовскую протоку и Буорыларскую протоку. Вместе с протоками правого рукава выше по течению рукава у острова Пономарева они составляют сейчас единое параллельно-рукавное русло [Чалов, Кирик и др., 2012].

Ниже острова Пономарева главное течение реки собирается около правого пойменного берега.

Городская протока в начале XX века [Чистяков, 1970] была основным по водности рукавом, и по ней проходил судовой ход.

В Разветвлении русла, сформированным островом Пономаревым, левый рукава – Адамовская протока, имеет ширину 1,2 км образует квазиизлучину с длинным верхним и коротким нижним крыльями.

Намский и Приалданские разбои (рис. 3.2.23).

Намский разбой. Ниже Кангаласского утеса русло р. Лены представлено односторонними чередующимися разветвлениями, в которых главное течение реки последовательно располагается в правых и левых рукавах, огибающих острова у противоположных берегов, и образующими возле них излучинами. Протоки между островами и пойменными берегами маловодны и относительно прямолинейны.



Рисунок 3.2.23 – Общая схема Намского и Приалданских разбоев

* - прямолинейное русло с шахматным чередованием побочней

1 – Намский разбой; 2 – Хайтыаллахский разбой; 3 – Омулаганский разбой; 4 – Арбынский разбой; 5 – Усть-Алданский разбой

На участке с. Намцы – Песчаная гора цепочка односторонних чередующихся разветвлений (бывших сопряженных [Водные пути..., 1995]) обрывается. До 70-80-х годов прошлого века русло в районе Намского разбоя было прямолинейным с шахматным расположением крупных побочней. Пойма двусторонняя, расчленяется пойменными протоками. [Чалов, Кирик и др., 2014].

Приалданские разбои. Русло Лены выше слияния с р. Алданом представляет собой сложную систему, состоящую из звеньев, образующих параллельно-рукавные разветвления, – Хайтыгалаахское, Омулаганское, Арбынское и разветвления дельтового типа сформировавшегося в узле слияния Лены с Алданом. Весь участок перечисленных разбоев располагается в зоне переменного подпора, вызванного впадением р. Алдан. [Ермакова, Кирик, 2006].

Прямолинейное русло имеет искривленную форму динамической оси потока за счет чередования в шахматном порядке побочней.

Хатыгалаахский разбой разделен островами на 3 рукава: левый имеет название Хайтыгалаахская протока; правый – Атаринская протока; центральный – Прямая протока. Ширина Хайтыгалаахской протоки изменяется от 570 м на западе до 850 м в центральной и нижней частях. Прямая и Атаринская протоки осложняются вторичными разветвлениями около вторичных островов и крупных осередков [Чалов, Кирик и др., 2014].

Дельтовое Усть-Алданское разветвление разделяется на два главных рукава, между которыми находится конгломерат островов. Данные рукава выделяются своей водностью: на левый приходится 46% (протока Турий Взвоз), и 49% забирает правый рукав – Арбынская протока. Последняя формирует короткое слияние – Лено-Алданскую стрелку, протока Турий взвоз образует длинное слияние – сливаясь с общим потоком Алдана и Арбынской протоки, протока Турий взвоз объединяется с общим потоком Алдана и Арбынской ниже его устья. На входе в Арбынскую протоку Ленский поток огибает острова, которые объединены массивным побочнем, отделяемым от берега побочневой протокой. На остальных ее участках русло условно прямолинейное, ширина его составляет 1,3 км от правого пойменного берега до островов и пол километра при обсыхании отмелей [Чалов, Кирик, 2015].

Ниже устья р. Алдана располагается 30-километровый участок русла, относящийся к одностороннему разветвлению. Данный участок реки имеет одностороннюю левобережную пойму, при этом основное течение сконцентрировано вдоль правого берега. Все острова, формирующие одиночное разветвление, располагаются вдоль левого пойменного берега.

Белогорский разбой, располагается в пределах участка русла, относящемуся к сложному одностороннему разветвлению (рис. 3.2.24).

Белогорский разбой – своеобразный сложно разветвленный участок русла между устьями рек Алдана и Вилюя, занимающий отрезок реки длиной около 50 км. Данный участок реки относится.

Все разветвление занимает расширение днища долины, замыкающееся в створе Белой горы. Сужение днища долины и выклинивание пойменно-островного массива перед мысом правого коренного берега – Белой горы. В начале разветвления (1400 км) река разделяется на два основных рукава – левый судоходный, забирающий, и правый – протоку Тенгелиях (Язевую), протекающую вдоль правого пойменного берега. Пойменный островной массив между рукавами расчленен рядом второстепенных протоков. Эти протоки разделяются массивным прирусловыми отмелями–косами в ухвостье каждого острова. [Чалов, Кирик, 2015, Чалов, Кирик и др., 2014].



Рисунок 3.2.24 – Космический снимок Белогорского разбоя

Между Белой горой и устьем Вилюя располагается 60-ти километровый участок параллельно-рукавного русла, для него характерно наличие лишь левобережной поймы, ширина которой уменьшается вниз по течению (с 10 км до 1).

В устье Вилюя находится короткий участок прямолинейного русла (20 км). К правому берегу реки подходят отроги горного хребта. Левый берег представляет собой Обь-Вилюйскую пойму.

Монастырский и Черпальский разбой представляют собой параллельно-рукавное русло, в прошлом относящееся к сложно-сопряженному типу (рис. 3.2.25 и 3.2.26). Ниже устья р. Вилюя русло Лены на протяжении почти 350 км образует сложные, взаимосвязанные между собой разветвления, для которых свойственны многочисленные межостровные протоки среди островов посередине русла, по которым осуществляется

переток воды из одного основного рукава в другой. При максимальной ширине русла 28 км общее количество рукавов и проток достигает двадцати.

Ниже впадения Вилюя располагается Монастырский разбой. Выше его весь расход Лены сконцентрирован в едином русле, проходящем вдоль правого горного берега. В истоках правого судоходного рукава развит массив островов и отмелей, который подстилается выходами коренных неразмываемых пород. Огибая их, поток прижимается к оголовку островов, формирующих узел разветвления. Правый рукав, минуя группу прибрежных островов в своем истоке, проходит затем вдоль коренного берега. Левый рукав располагается в основном в пойменных берегах.

Правый рукав располагается вдоль склонов хребта Орлуган (Верхоянье) и является относительно устойчивым.



Рисунок 3.2.25 – Обзорная схема Монастырского разбоя

Черпалький разбой образован большим островным массивом. Русло на данном участке имеет максимальную степень разветвленности для всей р. Лены. В отдельных створах выделяется до 5-6 крупных рукавов, соединяющихся между собой относительно маловодными протоками. Наиболее широкие и многоводные рукава располагаются в правобережной и левобережной зоне руса, образуя системы, сопряженные с рукавами вышележащего Монастырского разбоя [Чалов, Кирик, 2015].

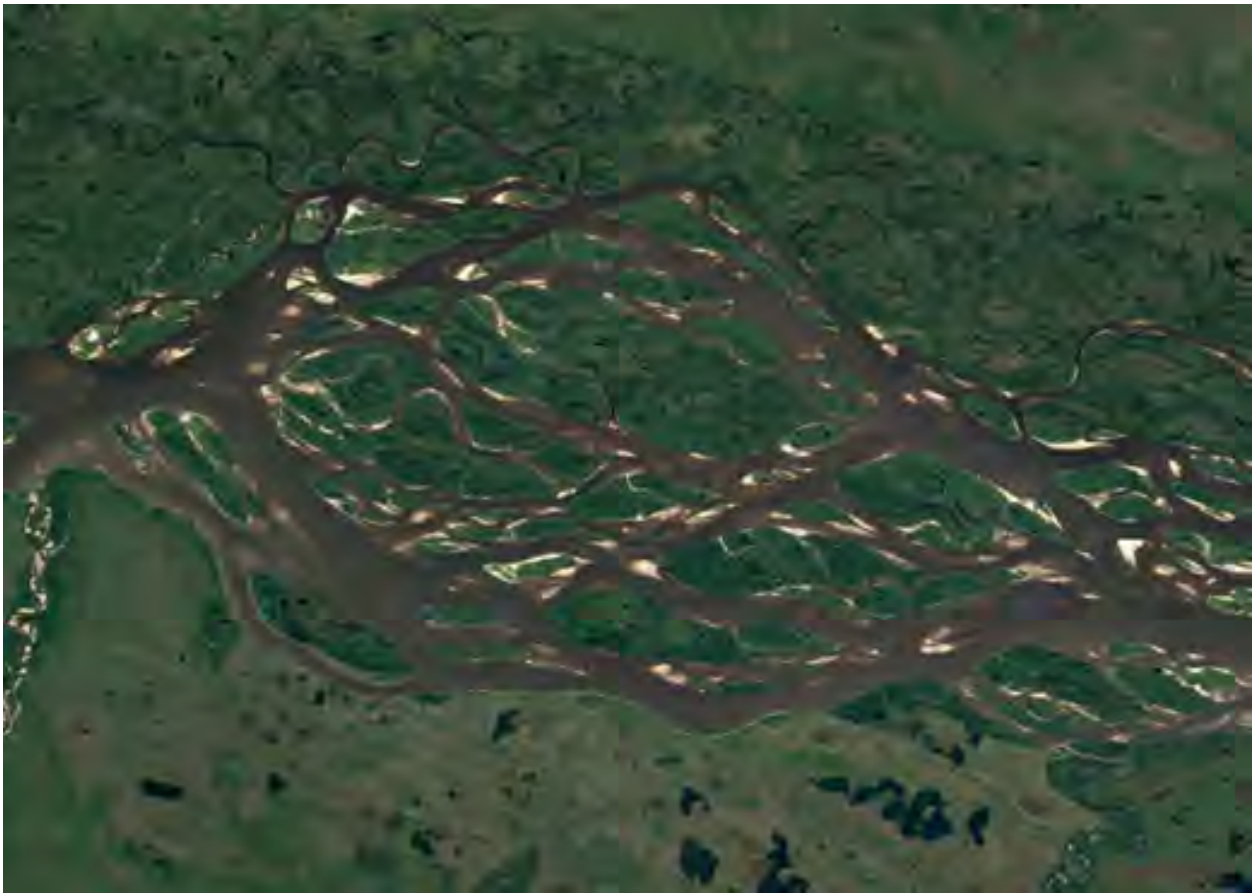


Рисунок 3.2.26 – Космический снимок схема Черпальского разбоя

Разбой Сахам-Мадвежий-Березовый (рис 3.2.27) располагается в пределах параллельно-рукавного русла. Он является наиболее протяженным и сложным разбоем на Лене. Весь разбой составлен большой группой вытянутых вниз по реке островов разных размеров, которые разделяются широкими и сравнительно многоводными поперечными протоками, по которым осуществляется перемещение водных масс из правого рукава в левый и наоборот. В его начале главное течение реки разделяется на два основных рукава, являющиеся прямым продолжением соответственно левого рукава и правого, более многоводного в вышележащем Черпальском разбое [Чалов, Кирик, 2015].



Рисунок 3.2.27 – Космический снимок разбоя Сахам-Медвежий-Березовый

Разбой Отон-Арыы (рис 3.2.28) располагается в пределах параллельно-рукавного русла. Данный разбой является относительно простым. Река здесь разделяется на два больших параллельных рукава вытянутых вдоль реки является по существу продолжением параллельно-рукавного разветвления русла в вышележащем разбое. То есть переформирования русла на данном разбое связаны с развитие предыдущего участка [Чалов, Кирик, 2015].



Рисунок 3.2.28 – Космический снимок разбоя Отон-Ары

Картылабытский разбой (рис. 3.2.31) располагается в нижней части протяженного параллельно-рукавного участка русла. Картылабытский разбой относится к параллельно-рукавному руслу. Которое характеризуется здесь устойчивым положением основного русла в левом рукаве у о. Картылабыт и правом рукаве узла разветвления у горы Аграфены [Чалов, Кирик, 2015].



Рисунок 3.2.29 – Картылабытский разбой

Жиганский разбой (рис 3.2.30). Жиганский разбой представляет собой последовательность из нескольких односторонних разветвлений. В устье пределах основным является левый рукав. [Чалов, Кирик, 2015].



Рисунок 3.2.30 – Обзорная схема Жиганского разбоя

Выводы. 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.

На Оби от слияния Бии и Катунь до устья Чарыша преобладает параллельно-рукавное русло (45,5% длины участка). Ниже устья р. Чарыша и до устья р. Алея

возрастает доля одиночных (36,9 %) и односторонних (41,5%) разветвлений. После устья р. Алея 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-русловых разветвлений, рукава которых меандрируют, на меандрирующее русло приходится 50,9% длины участка (рис. 3.2.31).



Рисунок 3.2.31 – 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-русловые 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. Перегрёбного 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 3.2.32).



Рисунок 3.2.32 – 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.



Рисунок 3.2.33 – Доли различных типов русла на Лене

Река Лена отличается сравнительной однородностью в динамике морфодинамических типов русла по длине реки. Извилистое русло не встречается. 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. 3.2.33).

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.

3.3 Особенности рассредоточения стока воды в разветвлениях русла

При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования: 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.* Объем авторского вклада составляет 30%.

Рассредоточение стока воды по рукавам играет первостепенную роль в формировании руслового режима рек, разветвленных на рукава, обоснования положения в них судоходной трассы, определения условий водообеспечения населённых пунктов и объектов хозяйственной деятельности на их берегах, для разработки прогнозных оценок переформирований русел. Однако измерения расходов воды в рукавах рек не регулярны, производятся очень редко и только при проведении специальных исследований или водно-технических изысканий; на практике преобладает применение различных расчётных методов распределения расходов воды по рукавам, но лишь в единичных случаях осуществляется проверка полученных результатов по натурным данным, позволяющим оценить погрешность расчетов [Алексеевский, Чалов, 2009, Чалов и др., 1998]. В связи с этим сведения о рассредоточении расходов воды по рукавам, полученные в рамках натурных измерений, и их сопоставление с расчетными данными имеют большую значимость, как с теоретической, так и с практической точек зрения. Натурные измерения осуществлены в рамках экспедиционных исследований, в том числе с участием Автора, начиная с 2014 г [Камышев и др., 2017].

Измерения расходов воды были выполнены практически во всех разветвленных участках Оби. На Лене расходы воды не охватывают нижний участок реки в районе и ниже п. Жиганска.

Расходы воды измерялись акустическим доплеровским измерителем течений, совмещенным с GPS-навигатором. Створы назначались в верхней или нижней частях каждого рукава, в ряде случаев для контроля – также непосредственно выше узла разветвления.

На Оби измерения выполнялись в начале лета на спаде половодья. То есть уровни воды всегда существенно превышали меженные. На Лене измерения расходов воды выполнялись в летний период во время межени или дождевых паводков.

Для простых разветвлений р. Оби, на которых не проводилось измерений, рассчитывались соотношения расходов воды по рукавам по формулам Ф. М. Чернышева [1973]:

$$\frac{Q_{\text{л}}}{Q_{\text{п}}} = \sqrt{\frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{л}}}} \quad \text{и} \quad F = \frac{n^2 l_{\text{рук}}}{b_{\text{рук}}^2 h_{\text{рук}}^{10/3}},$$

где $Q_{\text{л}}$ – расход в левом рукаве, $Q_{\text{п}}$ – расход в правом рукаве, $F_{\text{л}}$ – модуль сопротивления в левом рукаве, $F_{\text{п}}$ – модуль сопротивления в правом рукаве, n – коэффициент шероховатости, который принимался равным для всех рукавов (в связи с однородностью состава донных отложений и отсутствием водной растительности); $l_{\text{рук}}$ – длина рукава, $b_{\text{рук}}$ – средняя ширина рукава, $h_{\text{рук}}$ – средняя глубина рукава. Морфометрические характеристики русла снимались с карт русла (бывш. лоцманские) р. Оби. На реке Лене расчет рассредоточения стока по методике Ф.М. Чернышева не осуществлялся в виду отсутствия элементарных разветвлений.

Для оценки репрезентативности расчетов распределения расходов воды по рукавам были выполнены соответствующие расчеты для тех разветвлений, в которых были проведены натурные измерения расходов воды.

Сравнение процентных соотношений расходов воды в рукавах, полученных с помощью непосредственных измерений и рассчитанных по приведенным формулам, показало, что последние обеспечивают достаточно высокую точность (минимальная ошибка – 1%, средняя – 9%, максимальная – 16%). Наибольшие расхождения отмечены для тех разветвлений, в которых переформирования были наиболее заметными: крупные побочни перекрыли частично заходы в рукава или выходы из них, что привело к сокращению их водности, хотя морфометрические характеристики русел ещё не изменились; произошло изменение параметров излучин в пойменно-руслowych разветвлениях или обмеление перекатов и т.д [Камышев и др., 2017].

Особенности рассредоточения стока на Оби.

Распределение расходов воды на верхнем участке Оби определяется условиями взаимодействием потоков Бии и Катуня в разные фазы водного режима и абсолютным преобладанием параллельно-рукавного русла. Непосредственно ниже слияния Бии и Катуня распределение стока связано с переменным подпором той или другой реки, и, соответственно и чередованием преобладания Бийских или Катуньских расходов воды. В апреле-мае сток воды р. Бии превышает сток в Катуня; в летний период ситуация обычно противоположная (рис. 3.3.1) [Кумсиашвили Г.П., Чалов, 1990].



Рисунок 3.3.1 – Схема взаимодействия Бийского Катуньского потоков

А – летний период, Б – весенний период.

Ниже Слияния Бии и Катунь на первых 50-60 км в пределах параллельно-рукавного русла наблюдается тенденция к образованию и сохранению во всей системе разветвлений двух, сопоставимых по водности рукавов (61% в левом рукаве, 39% в правом рукаве по данным измерений на спаде половодья в 2015 г.), располагающихся у противоположных берегов реки и отделенных друг от друга группами небольших островов и осередков. По протокам между данными рукавами происходит частичное перераспределение стока.

Наличие двух динамических осей в русле обусловлено малой устойчивостью, большой шириной русла и расположением ниже слияния двух сопоставимых по водности крупных рек [Кумсиашвили, Чалов, 1990].

Далее вниз по течению (от 60 км и до устья р. Чарыша) параллельно-рукавная система нарушается. Происходит перераспределение стока по коротким рукавам вследствие влияния перемещающихся побочней и осередков. На коротких участках сток концентрируется в одном рукаве (80-90% совокупного расхода реки). Меньшие по водности рукава, располагавшихся здесь в прошлом сопряженных разветвлений, в настоящее время представляю собой отмирающие пойменные протоки с водностью менее 10-15% [Русловые процессы..., 2001].

Ниже устья р. Чарыша река течет преимущественно вдоль левого коренного берега. В пределах большинства разветвлений, среди которых преобладают односторонние, основная доля расходов воды сконцентрирована в левых рукавах (до 80% суммарного расхода воды). Однако, специфические условия – наличие 100-метрового оползневого склона – во время сходов крупных оползней определяют перемещение основного русла в правобережные рукава на достаточно продолжительный период времени: до момента, когда тело оползня будет размыто. В середине XX века, например, правый рукав у о-ва Беловского был основным из-за того, что левый рукав был на треть его ширины перекрыт

огромным оползнем (рис. 3.3.2).



От с. Володаркого и до с. Калистратиха (район устья р. Алея), основной расход концентрируется в правобережной части русла, ниже по течению основными рукавами вновь становятся левобережные (рис. 3.3.3).

Рис. 3.3.2 - Положение крупного оползня в середине XX века.



Рис. 3.3.3 - Схема распределения расходов воды на участке реки в районе устья р.Алей в условиях спада половодья по данным измерений 2016 г.

Ниже с. Бураново и до г.Барнаула, формируются первое пойменно-русловое разветвление (Рассказихинское), основной расход воды (78%), в котором сконцентрирован в правом рукаве (рис. 3.3.4).



Рисунок 3.3.4 – Распределение расходов воды в Рассказихинском пойменно-русловом разветвлении

После г. Барнаула и до с. Шелаболихи река протекает преимущественно вдоль левого коренного берега, лишь местами отходя от него в правобережную часть речной долины. Вдоль коренного берега основная доля расходов воды концентрируется в левых рукавах, за исключением участков, где уступы коренного берега, расположенные выше разветвлений (рис. 3.3.5).



Рис. 3.3.5. Разветвления с концентрацией стока в правом рукаве, обусловленным отклоняющим воздействием уступов коренного берега

Ниже с. Шелоболихи река отходит от коренного уступа плато и переваливается к правому коренному берегу. В пределах участка формируется несколько излучин, в

вершинах которых формируются острова, отчлененные приверхи выпуклых берегов – шпор излучин. Для этих разветвлений в вершинах излучин свойственно преобладание стока воды в правых рукавах, проходящих вдоль вогнутых правых коренных берегов.

Трехрукавное пойменно-русловое разветвление в выше г. Камень-на-Оби имеет в целом сопоставимые расходы в каждом из трех рукавов.

В нижнем бьефе Новосибирской ГЭС и до устья р. Томи рассредоточение стока в разветвлениях определяется направленным врезанием реки. То есть с момента строительства гидроузла наметилась тенденция к увеличению водности в основных рукавах разветвлений и постепенному отмиранию второстепенных рукавов.

Ниже устья р. Томи и до г. Нижневартовска основные типы разветвлений представлены одиночными, прорванными излучинами и пойменно-русовыми разветвлениями. Для первых характерно периодическое перераспределение стока, так за период с 1986 по 2014 г. на четырех разветвлениях произошло полное перераспределение расходов воды между рукавами, это сопровождалось обмелением одного рукава и углублением второго [Камышев и др., 2017]. Для прорванных излучин характерно постепенное увеличение водности спрямляющих рукавов.

Пойменно-русловые разветвления относятся к наиболее консервативным среди разветвлений средней Оби по перераспределению стока воды между обоими протяженными (иногда более 20 км) извилистыми рукавами. Формируясь там, где русло реки в целом перемещается от одного борта долины к другому и располагаясь по диагонали к общему направлению транзитного потока половодья, затопившего пойму, они характеризуются увеличением относительной водности рукава, образующего более пологий («длинный») перевал половодного потока в многоводные годы (или периоды лет) и, наоборот, более крутой («короткий») в маловодные годы (или периоды лет). Это обеспечивает равнозначность морфометрических характеристик обоих рукавов и относительное постоянство распределения между ними стока воды во времени. Различия возникают из-за неодинаковой длины рукавов и их извилистости, а также вследствие переформирований русла, которые могут привести к направленному за многолетний период перераспределению стока [Камышев и др., 2017]. Для участка характерно увеличение количества пойменных проток в низ по течению, водность в них при этом колеблется от первых процентов до 19%.

В односторонних разветвлениях (их 8) на рассматриваемом участке) колебания водности второстепенных рукавов незначительны (в пределах 5%), не испытывают направленных изменений, хотя доля расхода в некоторых из них достаточно велика (25%, как в Сарафановском разветвлении) [Камышев и др., 2017].

Ниже г. Нижневартовска на широтном участке средней Оби впервые складываются условия для формирования раздвоенного русла – самого высокого уровня развития русловых разветвлений [Чалов, С. Чалов, 2020]. В пределах этого участка выше г. Сургута от основного русла Оби в левобережную часть поймы от реки отходят следующие друг за другом рукава: Юганская Обь, протоки Бол. Салымская и Неулева общей длиной 350 км (рис. 3.3.5), которые забирают от 19 до 40% стока воды и являются, наряду с правым, основным по водности (70–80%) также судоходными.



Рисунок 3.3.6 - Раздвоенное русло средней Оби (широтный участок от устья р. Вах до слияния с р. Иртыш). 1 – коренные берега; 2 – пойма; 3 – рукава раздвоенного русла; 4 – пойменные протоки и притоки [Чалов, Куракова, Камышев и др., 2022].

После слияния с р. Иртышом река поворачивает в северном направлении и протекает вдоль правого коренного берега, образуя протяженный морфологически однородный участок одиночных разветвлений. Положение русла вдоль ведущего берега определяет то, что в большинстве случаев основным по водности рукавом является правый. В отдельных случаях сток в левых рукавах может быть больше, однако, для этого выше по течению находится выступ коренного берега, отклоняющий поток от него (рис. 3.3.7). Единственное на участке параллельно-рукавное разветвление характеризуется некоторым преобладанием расхода воды в правых рукавах (69%).



Рисунок 3.3.7 – Разветвление с концентрацией стока в левом рукаве, обусловленное отклоняющим воздействием уступов коренного берега

Ниже с. Перегрёбного наблюдается увеличение ширины поймы более чем в 2 раза на фоне общего изгиба долины, в результате чего формируется раздвоенное русло. Левый рукав его называется Малой Обью, правый – Горной Обью. Расход воды в Малой оби составляет 64% в условиях половодья, направляясь в него выступом правого коренного берега.

Горная Обь протекает вдоль коренного правого берега, Малая Обь развивается в свободных условиях пойменных берегов. Рассредоточение расходов воды в разветвлениях Горной Оби определяется направляющим воздействием выступов коренного берега. Водность Горной Оби вниз по течению практически не изменяется. Однако в нижнем ее течении, где река отходит от коренного берега, от нее ответвляется крупная Сомутнельская протока (53% стока Горной Оби), создающая раздвоенное русло Горной Оби.

Сток воды в Малой Оби распределяется по вторичным пойменным рукавам: Тоготской Обью (забирает 60% расхода Малой Оби) и Вайсовой протокой (67% расхода Малой Оби), представляющими «вторичное» раздвоенное русло, Лапорской пойменной

протокой (19% расхода Малой Оби), пойменной протокой Пырсим (10% расхода Малой Оби), и более мелкими протоками. Соответственно вниз по течению происходит десятикратное уменьшение водности Малой Оби. Восстановление водности происходит после ее слияния с Тоготской Обью и с р.Северная Сосьва.

Ниже по течению располагается протока Большой Нюрик (также являющаяся рукавом раздвоенного русла), которая течет поперек долины реки и забирает значительную часть стока Малой Оби (5048 м³/с, что составляет 41% расхода малой Оби до точки их бифуркации), пойменные протоки (Верхний Нюрик – 4%, Средний Нюрик – 1%, Сухой Нюрик – 4%, Чухлай – 44%) и непосредственный пойменный сток, это увеличивает сток более чем в два раза (12566 м³/с). После слияния с протокой Большой Нюрик Горная Обь получает название Большая Обь, которая превагирует по водности вплоть до окончания участка раздвоенного русла [Чалов, Камышев и др., 2021].

Доля расхода в Малой Оби после ответвления протоки Большой Нюрик составляет 35%, на Большую Обь приходится 65% расхода. Для Малой Оби свойственна вторичная разветвленность раздвоенного русла - в районе п. Мужа влево отходит протока Малая Горная Обь, которая забирает в себя 32% расхода воды. Прочие многочисленные пойменные протоки дополнительно сокращают расход Малой Оби до 13% относительно совокупного расхода всей Оби.

Водность Большой Оби в целом стабильна на всем ее протяжении, и только в нижней ее части ответвление вправо протоки Игорской Оби (19% расхода Большой Оби) сокращает сток в ней (тоже раздвоенное русло).

Особенности рассредоточения воды на р. Лене. Кыллахский «разбой» (рис. 3.3.8) начинается с ответвления левой относительно маловодной прямолинейной Бердинской протоки (15% суммарного расхода воды на спаде половодья). Главное русло сосредоточено вдоль правого коренного берега. Водность протока Кырбайдахская составляет 30% от совокупного расхода в реке. Левый рукав разделяется на два: правое звено забирает 21% расхода, левый – 34% [Чалов и др., 2012].



Рисунок 3.3.8 – Схема рассредоточения расходов воды в Кыллахском «разбое»

Покровское разветвление (рис. 3.3.9) представляет собой в общем плане многорукавную систему с периодическим изменением распределения расходов воды по рукавам. Так 50 лет назад наибольшую водность имел левый рукав (64% расхода воды), а в центральной части русла концентрировалось всего 19% расхода воды, к настоящему моменту эта доля стока возросла до 30%.



Рисунок 3.3.9 – Схема распределения расходов воды на покровском узле

Ниже по течению располагается «разбой» Рассолода представляющий собой параллельно-рукавное русло. На данном участке поток разделяется на 2 ветви: левую, которая проходит вдоль левобережных островов, и правую, которая тяготеет к высокой правобережной пойме. Они разделены цепочкой малых островов и прирусловых отмелей, отличающихся низкой подвижностью (осередков). Левобережная пойма расчленена маловодными, но протяженными пойменными протоками, доля расходов воды в которых не превышает первые проценты от суммарного расхода воды в реке [Чалов, Завадский и др., 2019].

Ниже Табагинского мыса, русло в целом прямолинейное, но с развитой пойменной многорукавностью, расчленяющей правобережную пойму. По левобережной пойме проходит лишь маловодная протока Табагинская (1-2% стока воды). Сток воды по правобережным протокам поддерживается в том числе за счет заторных явлений в районе Табагинского мыса. Затопы приводят к отклонению части стока на правобережную пойму.

Ниже по течению формируется поток воды переваливает к правому коренному Бестяхскому берегу. По левобережной пойме проходит Городская протока – в прошлом (100 лет назад) основное русло Лены, по которому протекало 90% совокупного стока воды. К настоящему времени сток воды в Городской протоке сократился до 15% в половодье и до 4-8% в межень [Чалов, Завадский и др., 2019].

У о-ва Понамарева наметилась тенденция к увеличению водности правого рукава – Буорыларской протоки и уменьшению водности левого рукава – Адамовской протоки. В 1972 г. соотношение расходов в них было 70% к 30% в пользу Буорыларской протоки, к настоящему моменту сток в правом и левом рукавах одинаков.

То есть для Якутского узла в многолетнем плане наблюдается увеличение расхода в правобережных системах рукавов и в целом смещение русла вправо.

Ниже г. Якутска русло представлено чередующимися односторонними разветвлениями. Основной расход воды в них попеременно располагается то у левого, то у правого берегов. Протоки между островами и пойменными берегами маловодны (в межень на них приходится менее 10% суммарного расхода воды).

В районе п. Намцы вновь формируется параллельно-рукавное русло, 60 лет назад являвшееся прямолинейным с двусторонними прибрежными разветвлениями. В настоящее время 55% расхода воды проходит в левобережной Намской протоке, однако еще 5 лет назад основной сток воды проходил в правой части русла.

Ниже параллельно-рукавного участка сток воды концентрируется у правого берега коренного берега – «Песчаной горы». Это способствует активному размыву.

После «Песчаной горы» располагаются три узла разветвления: Хайтыалаахский, Омулаганский и Арбынский, между которыми располагаются участки концентрации стока с наличием маловодных пойменных протоков. Хайтыалаахский узел образован тремя протоками: левой - Хайтыалаахской (около 19% расхода воды), центральной - Прямой (17%) и правой - Атаринской (64%) (рис. 3.3.10). После слияния данных протоков в единый рукав, в нем собирается 96% стока (4% уходит в правобережные пойменные ответвления) [Чалов, Кирик, 2012]. В 1957 г. основной расход воды концентрировался в Хайтыалаахской протоке, к 1970-м годам в нее уходило треть стока воды (табл. 3.3.1).

Таблица 3.3.1. Распределение расходов воды по рукавам Хайтыалаахского узла (в % от общего расхода р. Лены) [Водные пути..., 1995]

Рукав (протока)	Относительная водность при уровнях над проектными			
	250 см	210 см	67 см	0 см
Хайтыалаахская	41,8	33,8	30,5	30,7
Прямая	30,2	28,5	26,5	24,0
Ардынская	28,0	37,3	43,0	45,3



Рисунок 3.3.10 – Схема рассредоточения стока в Хайтылаахском узле

Ниже располагается следующий узел – Омулаганский, основная часть расхода воды в котором концентрируется в левом рукаве (68%), правый рукав забирает в себя 15%, соединяющая их центральная протока принимает около 15% расхода воды [Чалов, Кирик и др., 2014] (рис 3.3.11).

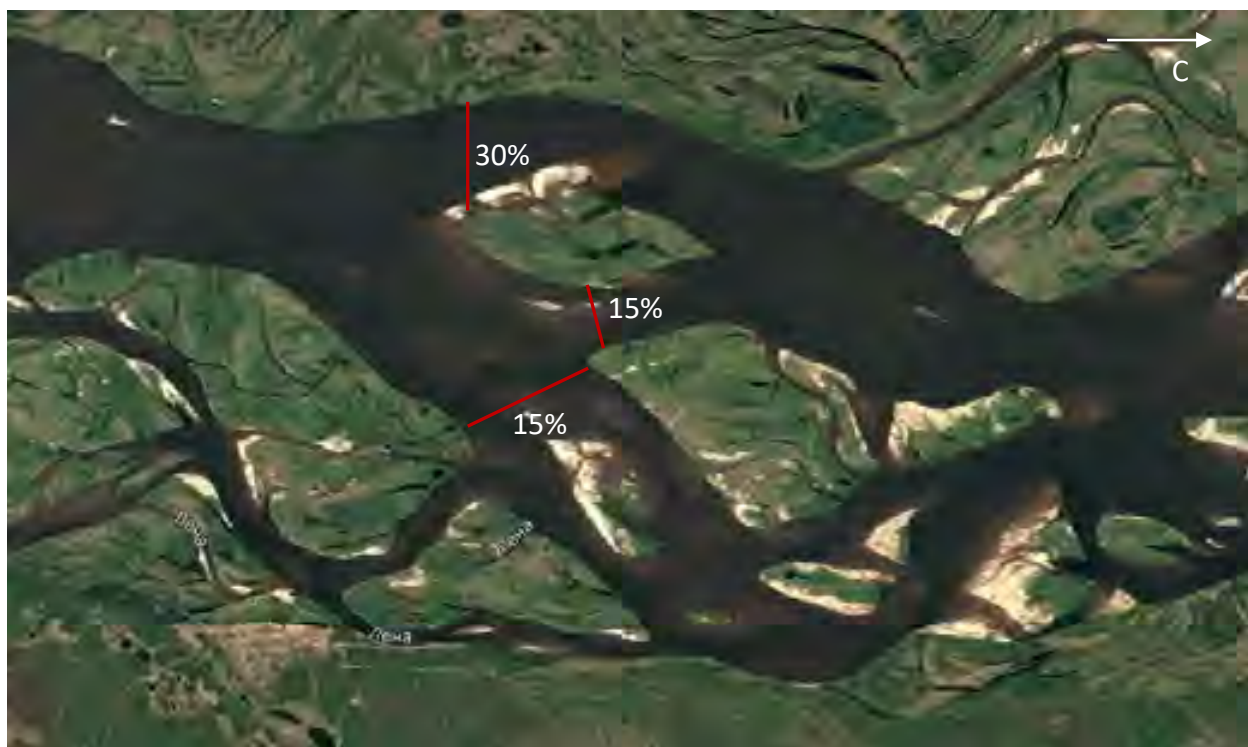


Рисунок 3.3.11 – Схема рассредоточения стока в Омутьганском узле

Русло в Арбынском разветвлении (рис. 3.3.12) разделяется на два рукава. Основная часть расхода воды сконцентрирована в правом рукаве (около 80%); левый рукав, хоть и менее полноводен, но сток в нем при этом рассредоточен по второстепенным разветвлениям [Чалов, Кирик и др., 2014].

В Усть-Алданском дельтовом разветвлении русло разделяется на два основных рукава, между которыми располагается архипелаг островов: 33% – левобережная система рукавов Турий Взвоз; 67% – система Арбынской протоки.



Рисунок 3.3.12– Схема рассредоточения стока в Арбынском и Усть-Алданском узлах

Для всего участка начиная с Хайтылаахского узла и заканчивая Усть-Алданским на протяжении XX в. и до настоящего момента происходило попеременное развитие то одних, то других рукавов и соответственно характерное изменение их водности.

Ниже устья Алдана располагается одностороннее разветвление, сток воды в котором концентрируется вдоль правого коренного берега. Характерной особенностью данного участка является смешение потоков Алдана и Оби. В периоды времени, когда Алдан подпирает Обь, сток воды из нее может концентрироваться в левобережных рукавах.

Огибая выступ коренного берега в районе устья р. Белянки основное русло переваливает к левому пойменному берегу, при этом вдоль правого берега формируется конгломерат островов, расчлененных мелководными пойменными протоками (совокупный расход которых не превышает 20%). Положение основного русла вдоль левого берега сохраняется на протяжении 35 км, затем река вновь переваливает к правому коренному берегу – Белой горе. На этом перевале сток расплывается по широкому руслу, формируя несколько узких небольших островов, по протокам между которыми

сложным и неустойчивым образом распределяется сток. В результате формируется Белогорский узел разветвления (рис. 3.3.13).

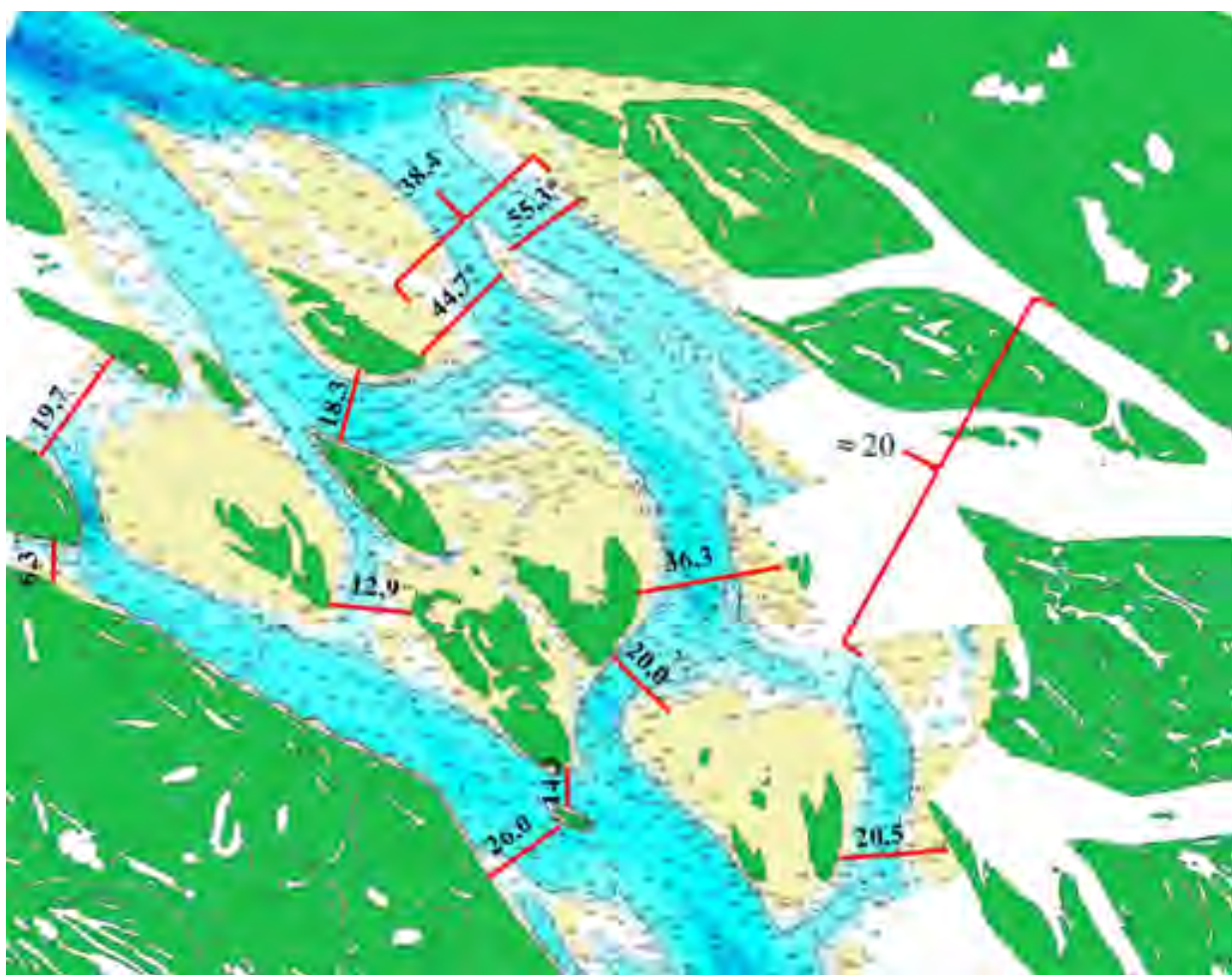


Рисунок 3.3.13 – Распределение расходов воды на Белогорском перекате в 2020 г.

* - проценты указаны от расхода рукава

От Белой Горы и практически до устья Вилюя преобладают разветвления параллельно-рукавного типа. В результате формируется две ветви течения, правая из которых проходит вдоль правого коренного берега, левая располагается в центральной части русла либо вдоль левого пойменного берега. Ветви течения отделены друг от друга крупными островами или конгломератами островов, между которыми располагаются мелководные протоки.

Ниже устья р. Вилюя располагается цепочка сложных узлов разветвления, верхними из которых являются Монастырский и Черпальский. В прошлом Особенностью Монастырского разветвления является перераспределение расхода воды в основных рукавах во время фаз различной водности: при руслоформирующих расходах воды до 75% стока проходит по левому рукаву, при низких уровнях и на спаде паводков 55-60% расхода воды уходит в правый рукав. Черпальский узел связан с Монастырским по

правилу «восьмерки» Во время повышенной водности основная доля расхода переваливает из системы левых рукавов Монастырского узла в правые рукава Черпальского; трансформация стока по мере уменьшения уровней воды в верхнем звене в пользу правых рукавов сопровождается концентрацией основной части расходов воды в левых рукавах нижнего звена. Во время глубокой межени пропускная способность левых рукавов Черпальского разветвления из-за их мелководности снижается, что вновь приводит к концентрации стока в правых рукавах. Преимущественному развитию правого рукава благоприятствует его положение вдоль коренного ведущего берега.

В настоящее время происходит разделение потока на две крупные ветви, наиболее многоводной из которых является правая (60,2% от общего расхода). Левобережные рукава забирают около 40%. Средняя водность второстепенных протоков варьируется от 1 до 8%. В основном это – протоки между островами и их группами, протоки, отделяющие прибрежные островные массивы от поймы, и даже при достаточной ширине являющиеся крайне маловодными. Водность судоходного рукава в среднем варьируется от 20% до 40%. Для сравнения в таблице 3.3.2 и на рисунках 3.3.14 и 3.3.15 дано сопоставление приведенных данных за 2020 г. с результатами измерений 1993 г.

Таблица 3.3.2. Изменение рассредоточения расходов воды в Черпальском узле

Местоположение створа	1993 г.	2020 г.
Створ ниже устья Лямпушки, 1185 км Правобережная система рукавов	12500 (57%)	24624 (59,6 %)
Створ ниже устья Лямпушки, 1185 км Левобережная система рукавов	9800 (42,5%)	16411 (39,5%)
о. Тисэнгдэ-правый берег	300 (1,2%)	2573 (6,2 %)
о. Рысий – правый берег	6400 (21 %)	5280 (13%)
о. Рысий – о.Митька-Беляга	1600 (7%)	1848 (4,6%)
о. Митька – о.Чарпалар	5800 (26%)	12100 (28,8%)
Левый берег – о.Чарпалар (левобережная система рукавов)	10010 (42 %)	16870 (39%)
Створ 1160 км Правая протока у оголовка о. Бол. Соболиный	15%	7038 (17,1%)
Створ 1160 км Левая протока у оголовка о. Бол. Соболиный	18%	3095 (7,5%)
Между о. Бол. Соболиный и правым берегом	8100 (36%)	16401 (39,7%)
Из них	900 (7%)	1998 (4,4%)
Между о. Бол. Соболиный и		

о.Калымарова Между о.Калымарова и правым берегом	7200 (29%)	14403 (35,3%)
Между о. Бол. Соболиный и о.Хара-Ары	2450 (12%)	5345 (12,9%)
Между о. Хара-Ары и о. Нес- Станнаах	2920 (14,1%)	7250 (17,5%)



Рисунок 3.3.14 – Общая схема распределения расходов воды по рукавам узла Черпальский-Рысий (измерения 24-25 июня 2020 г)



Рисунок 3.3.15 – Схема распределения расходов воды по основным рукавам Черпальского и Рысего узлов разветвлений. По измерениям 19 июля – 5 августа 1993 года [Архивные материалы НИЛ Эрозии почв и русловых процессов].

Ниже Черпальского узла (участок Сахам-Медвежий) общая схема процентного соотношения расходов воды по рукавам в верхней части участка предполагает наличие двух основных систем рукавов, между которыми осуществляется перемещение части потока из правой в левую и наоборот. Это происходит по многочисленным и зачастую относительно многоводным межостровным поперечным протокам. Правобережные рукава имеют меньшую водность в районе о. Медвежьего (30% стока), на левобережную систему приходится более 60% (рис. 3.3.16) [Чалов, Кирик, 2012].

Распределение расходов воды на 1971 г. представлено на рисунке 3.3.17.



Рисунок 3.3.16 – Схема рассредоточения стока у о-в Медвежьего и Сахама по состоянию на июнь 2020 г.

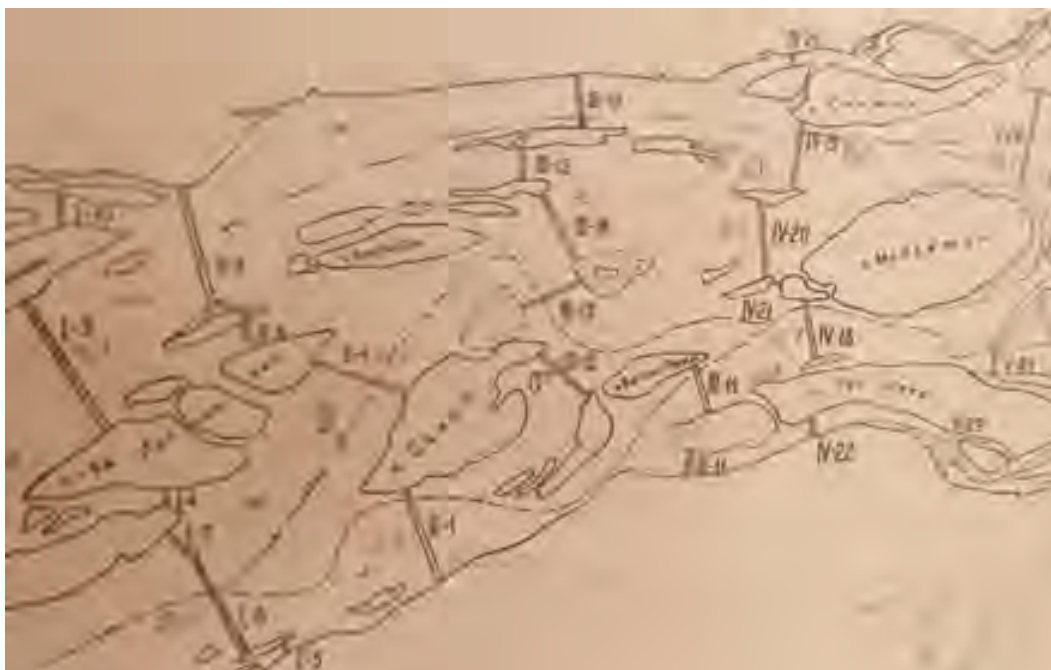


Рисунок 3.3.17 – Схема распределения расходов воды по рукавам Сахамского и Медвежьего разветвлений, 1095-1085 км судового хода, 26 июня-13 июля 1971 года [Архивные материалы НИЛ Эрозии почв и русловых процессов].

Ниже о-ва Медвежьего продолжается система с двумя основными системами рукавов: правобережная и левобережная (разбой Отон-Арыы). Однако после участка, где русло концентрируется практически в едином русле, большая часть расхода воды перемещается в правобережную систему рукавов, которая превалирует в доле стока на протяжении почти 30 км. После чего происходит перевал основного русла к левому берегу, а затем опять к правому берегу. При этом сначала у правого, а затем у левого берегов формируются крупные островные массивы (разбой «Картылабытский»).

На нижнем участке широкопойменного русла – Жиганском узле разветвления, которое представлено односторонними разветвлениями, происходит резкое сужение ширины поймы, в результате чего река прижимается к левому коренному берегу, вдоль которого проходит основное русло. Левый берег характеризуется высокой неровностью и наличием большого количества выступов, которые способствуют отклонению части потока в правобережные рукава, тем самым поддерживая их «жизнеспособность». На левый рукав приходится порядка 70% расхода воды, в системе правобережных проток концентрируется лишь 30% стока (рис. 3.3.18) [Чалов, Кирик, 2012].



Рисунок 3.3.18 – Схема рассредоточения стока в Жиганском узле разветвления

Выводы. 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 рукав в пойменных берегах. На Лене из-за сплошного развития многолетнемерзлых пород крупные оползни не наблюдаются.

На средней и нижней Оби имеет место большое количество пойменных проток (ниже устья Кети), количество которых возрастает вниз по течению. Они играют важную роль в рассредоточении стока воды по пойме, отдельные пойменный 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 протоков. Соответственно роль пойменных протоков в распределении воды по пойме на Лене многократно меньше, чем на средней и нижней Оби.

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

4. Гидролого-морфологический анализ русел рек Оби и Лены

4.1. Гидролого-морфологический анализ излучин.

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

1) 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*, (2):92–102, 2021. Объем авторского вклада составляет 30%.

2) 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*, (1):81–91, 2018. Объем авторского вклада составляет 20%.

3) 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). / Р. С. Чалов, А. А. Камышев, А. А. Куракова и др. // *География и природные ресурсы*. — 2022. — № 2. — С. 102–113. Объем авторского вклада составляет 25%.

4) Чалов, Р. С., Завадский, А. С., Камышев, А. А., Куракова, А. А., Михайлова, Н. М., Рулева, С. Н. Гидролого-морфологическая характеристика и перестроения разветвленного русла нижней Оби (в пределах Ямало-Ненецкого АО) // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. — 2021. — Т. 85, № 4. С. 539-553. Объем авторского вклада составляет 20%.

На основе космических снимков и разновременных лоцманских карт для всех излучин Оби был определен их морфологический тип (сегментная, петлеобразная, синусоидальная, прорванная, заваленная, сундучная), параметры (L – шаг, $h_{и}$ - стрела прогиба, l - длина, r – радиус кривизны, b_p – ширина русла в вершине излучин, l/L – степень развитости, $r/h_{и}$ – показатель формы) и тип по степени развитости (пологая, развитая, крутая). Для поиска связи между параметрами излучин и величиной стока рассчитывался порядок реки по А. Шейдеггеру в модификации Н.А. Алексеевского [1998], т.к. этот параметр является эквивалентом водоносности.

Методика расчета параметров излучин и определение порядка реки. Вычисление параметров производилось с помощью пакета компьютерных программ GoogleEath.

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» [Том 15]. 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 (ниже излучины характерны практически только для рукавов раздвоенного русла) был определен порядок реки. Для излучин, расположенных в пойменно-руслых разветвлениях, порядок рассчитывался пропорционально доле расхода Q_i , приходящейся на рукава: $N=1+\log_2(P*Q_i)$. Для реки ниже по течению данная зависимость не определялась из-за малого прироста порядка реки до устья р. Иртыша (рис. 4.1.1) и отсутствия излучин на неразветвленных участках ниже устья р. Иртыша.

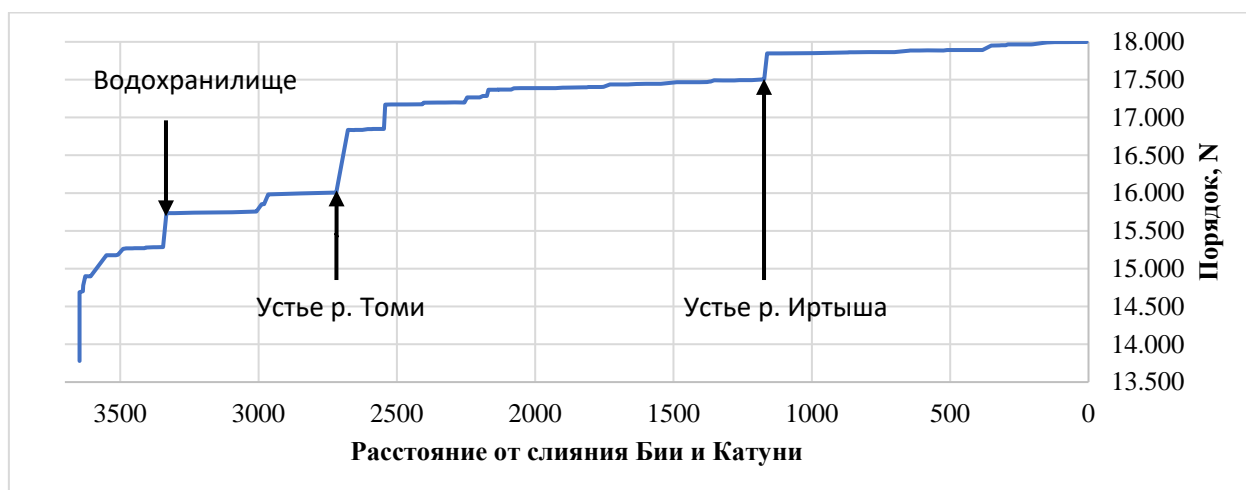


Рисунок 4.1.1 - Изменение порядка р. Оби (по Шайдеггеру)

Гидролого-морфологические зависимости излучин Оби.

Увеличение водности реки и её порядка N на верхней и средней Оби обуславливает такое же изменение параметров излучин (рис. 4.1.2,А,Б).

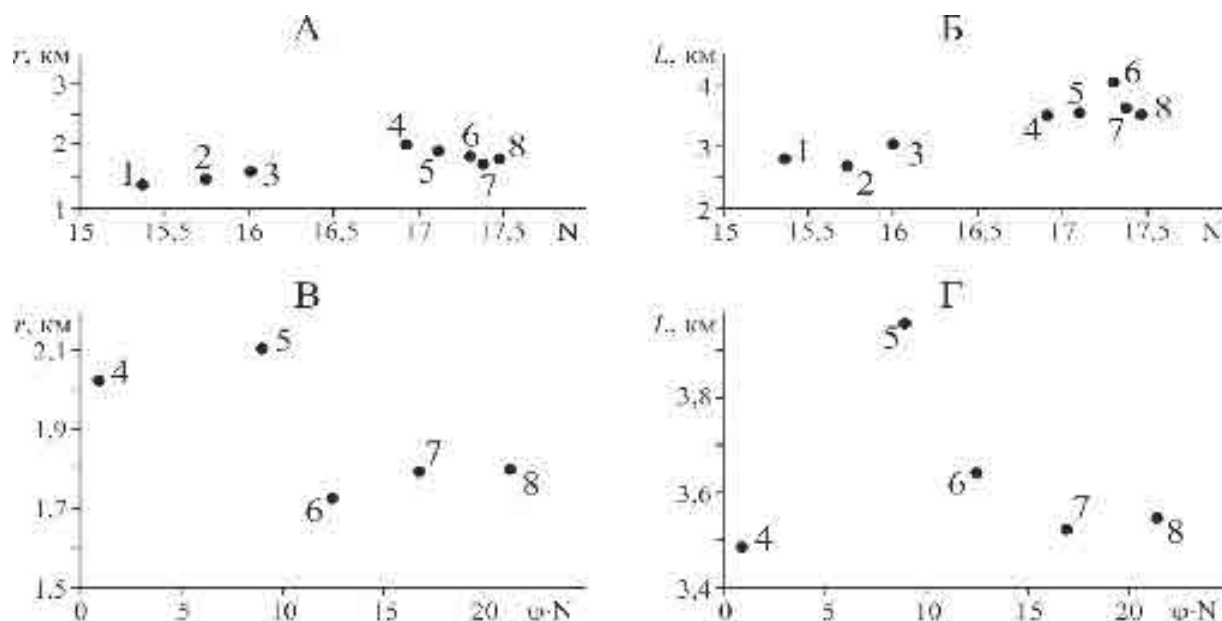


Рисунок 4.1.2 – Связь радиусов кривизны r (А) и шагов излучин L с порядком реки N (Б) для верхней (точки 1-3, среднеарифметические для участков с излучинами) и средней Оби (точки 4-8, модальные значения) и показателем φN (В, Г) [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018]

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 $Q_{\text{ф}}$ 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. 4.1.2,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. 4.1.2,Б), что не соответствует общепринятым представлениям [Чалов и др., 2004]. Однако, 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 $\varphi = \frac{\sum l_{\text{отв}}}{l_p}$, где $\sum l_{\text{отв}}$ – количество пойменных проток, l_p – протяженность участка. Для верхней Оби данный коэффициент не применим ввиду почти полного отсутствия пойменных проток. Для r (рис. 4.1.2,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 $Q_{\text{ф}}$: 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. 4.1.3,Г) зависимость от φ_N 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. 4.1.3,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. 4.1.3,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 ($r/h_{и}$, l/L) от порядка реки зависимости не выявляет, что объясняется большим разнообразием форм излучин, находящихся на разных стадиях развития: наблюдается только общий рост верхней огибающей точек [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

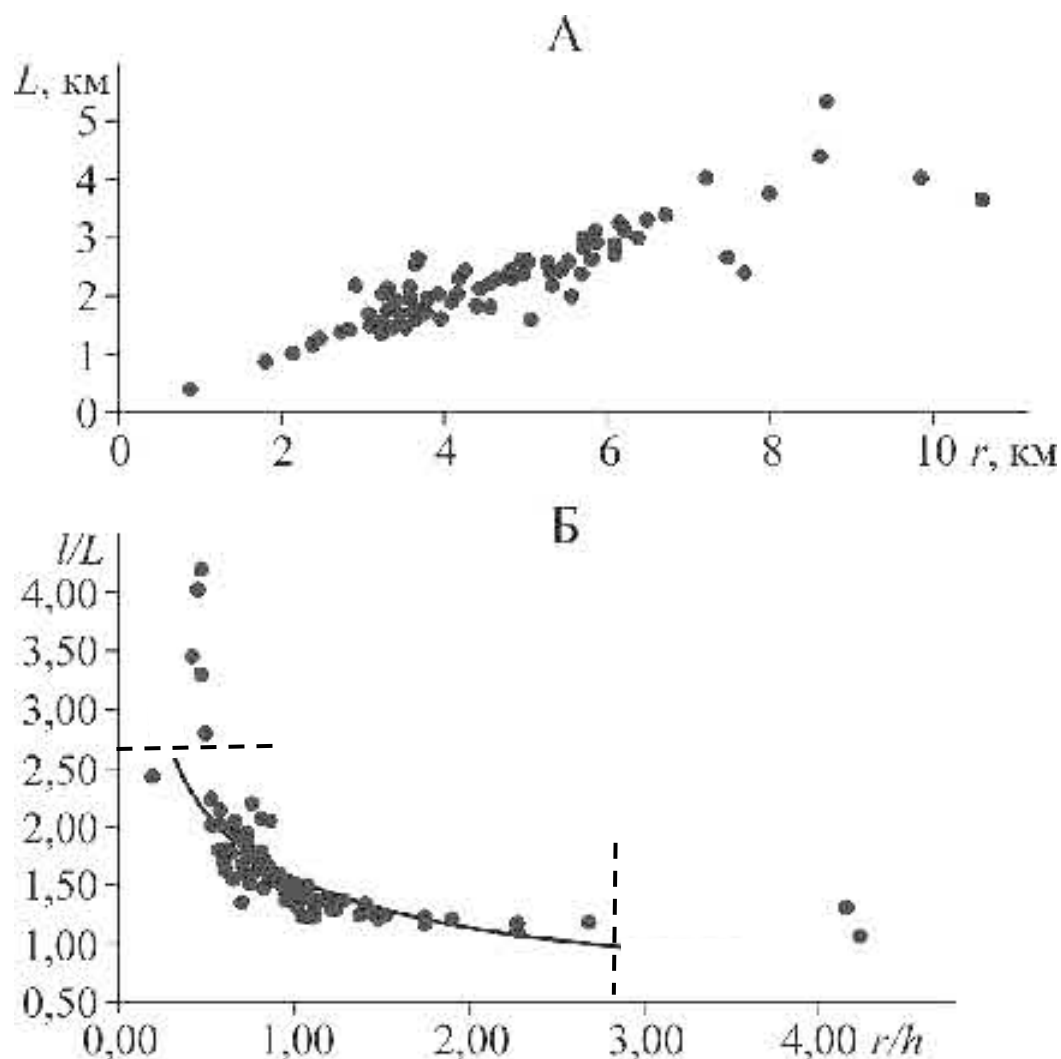


Рисунок 4.1.3 – Соотношение между морфологическими параметрами излучин Оби: А – шагом L и радиусом кривизны r ; Б – степенью развитости I/L и показателем формы r/h_i [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Параметры излучин изменяются в процессе их развития. У большинства излучин за 25 лет (1986-2011 гг.) уменьшился радиус r и возросла степень развитости I/L (табл. 4.1.1). Лишь в тех случаях, когда в это время произошло образование прорванной излучины с перемещением основного течения реки в спрямляющий рукав, r увеличился, а I/L уменьшилась. Так, у прорванной излучины на 1542-1548 км r был 1,94 км, стал 2,05 км, I/L была 1,60, стала 1,54, на излучине 1440-1448 км r изменился с 1,92 до 2,14. Тоже иногда происходило на синусоидальных излучинах, у которых в привершинной части стрежень потока перемещается к выпуклому берегу (Назинская излучина на 1779-1780 км) [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Таблица 4.1.1. Изменения параметров некоторых излучин Оби в 1986-2011 гг [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Расстояние от устья (название)	Параметры				Тип излучины и его изменения
	r , км		l/L		
	1986	2011	1986	2011	
1058-1067	3,32	2,88	1,39	1,48	сегментная пологая → сегментная развитая
1083-1091 (Абрамцевская)	3,46	3,18	1,22	1,25	сегментная пологая
1033-1140 (Игрековская)	3,22	2,17	1,44	1,59	сегментная развитая
1163-1169	2,82	2,35	1,21	1,29	сегментная пологая
1264-1268	1,14	1,13	1,74	1,94	сегментная крутая
1269-1272	1,14	0,86	1,35	1,59	сегментная развитая
1372-1377	1,95	1,58	1,36	1,59	сегментная пологая → сегментная развитая
1601-1607	1,77	1,75	1,67	1,85	сегментная развитая → сегментная крутая
1676-1681 (Новоникольская)	2,36	1,92	1,20	1,32	сегментная пологая

Изменение параметров излучин в пойменно-русловых разветвлениях является причиной изменения водности их рукавов. Например, в Кривошенском разветвлении заметно возросло соотношение l/L излучин левого рукава: водность его за 1986-2011 гг. сократилась с 53% до 30%, и он перестал быть судоходным; увеличение водности правого рукава сопровождалось незначительным увеличением l/L при увеличении радиусов кривизны некоторых излучин из-за повышения его водности. Перераспределение расходов воды между рукавами произошло также в Басмановском и Лукашинском пойменно-русловых разветвлениях (1340-136- и 1822-1832 км) [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Во второй половине XX в. произошло несколько спрямлений крупных сегментных и образование прорванных излучин, перемещение основного потока в спрямляющие рукава уже существующих. В 1986-2011 гг. спрямилась Кашинская излучина и

наметилось спрямление Петропавловской и Берёзовской излучин. В первом примере (1515-1520 км) формирование спрямляющего рукава – Каргасокской прямicy, произошло, когда l/L излучины возросло до 1,8; в 2011 г. водность его составила 79% расхода воды. Произошло выполаживание излучины: в 1986 г. $l/L = 1,38$, сейчас русло квазипрямолинейно – $l/L = 1,1$. Во втором примере величина l/L в 1986 г. и 2011 г. составляла 1,84 и 1,99 у Петропавловской, 1,35 и 1,49 у Берёзовской излучин. В обоих случаях образовались спрямляющие рукава – протоки Хлебница и безымянная, в которые со временем должно перейти главное течение реки [Чалов, Рулева, Камышев и др., 2018].

Анализ излучин русла, основных рукавов раздвоенного русла и рукавов разветвлений на широтном участке средней Оби от с. Соснино до устья р. Иртыша) 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 (табл. 4.1.2) [Чалов, Камышев и др., 2021].

Таблица 4.1.2. Параметры излучин на широтном участке средней Оби (r – радиусы кривизны, l – длина русла, L – шаг, $h_{и}$ – стрела прогиба) [Чалов, Камышев и др., 2021].

Излучины единого (нераздвоенного) русла от с. Соснино до истока Юганской Оби						
Параметр	r	l	L	l/L	$h_{и}$	$r/h_{и}$
Среднее значение	3,72	7,29	5,88	1,24	1,69	2,77
Минимальное	2,32	5,02	4,40	1,10	0,70	1,10
Максимальное	5,70	11,25	9,00	1,40	2,70	7,13
Излучины правого (основного) рукава раздвоенного русла						
Среднее значение	3,57	6,46	5,29	1,22	1,55	2,79
Минимальное	1,81	4,18	3,80	1,10	0,70	0,77
Максимальное	6,18	11,25	9,00	1,46	2,70	8,83
Излучины рукавов в разветвлениях русла						

Среднее значение	2,18	5,22	3,82	1,37	1,55	2,20
Минимальное	0,74	1,86	1,30	1,10	0,30	0,38
Максимальное	5,00	14,63	9,00	2,74	5,90	7,65

Радиус кривизны и шаг излучин единого (неразветвленного русла) выше истока Юганской Оби больше, чем излучин правого (основного) рукава раздвоенного русла и еще больше, чем излучин рукавов разветвлений (соответственно средние значения r равны 3,72, 3,57 и 2,18; средние значения L – 5,88, 5,29 и 3,82). Степень развитости l/L больше у излучин рукавов разветвлений, а ее амплитуда – в четыре раза по сравнению с излучинами русла и рукавов раздвоенного русла. Сравнение этого параметра для русла выше истока Юганской Оби и основного рукава раздвоенного русла показало их неизменность как по среднему значению, так и по амплитуде, так как отвлечение 20-30% расхода воды в Юганскую Обь и ее продолжение (протоки Большую Салымскую и Неулева) равноценно рассредоточению расхода воды по многочисленным пойменным протокам и поэтому не оказывает влияния на морфологические характеристики русла [Чалов, Камышев и др., 2021].

Средние значения стрелы прогиба излучин h (1,69) максимальны для русла выше начала его раздвоения. Для изгибов (излучин) рукавов русловых разветвлений характерна высокая дифференциация значений этого показателя.

Средние значения показателя формы излучин r/h приблизительно одинаковы для единого русла и для основного рукава раздвоенного русла (2,77 и 2,79), но в разветвлениях величина показателя снижается (2,20).

Большинство излучин русла и основных рукавов раздвоенного русла являются пологими сегментными. Для рукавов одиночных и сопряженных разветвлений характерны только пологие. Крутые, в том числе петлеобразные, излучины встречаются только в меандрирующих рукавах сложных трехрукавных разветвлений.

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. 4.1.4), характеризующих распределение излучин по интервалам, и эмпирических кривых распределения. Подобный анализ в свое время применил И.В. Попов [1965] для обоснования выделенных в классификации ГГИ типов русловых процессов.

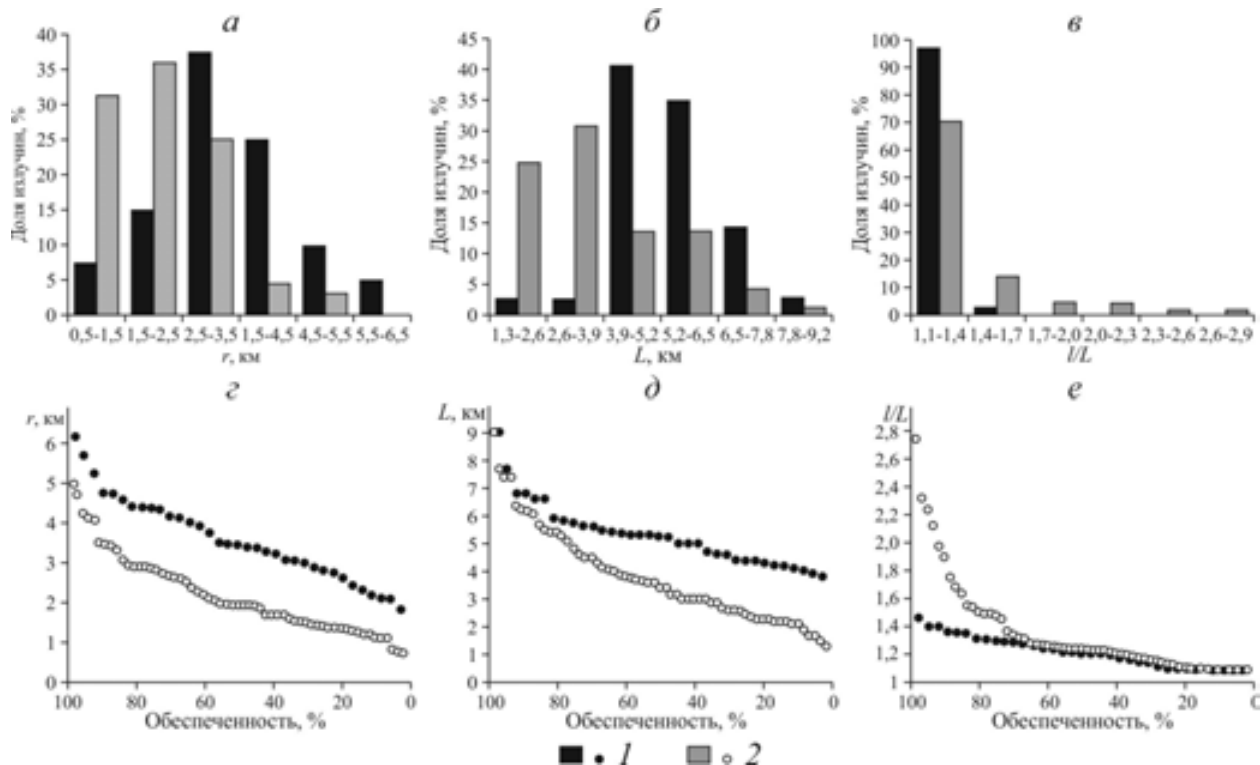


Рисунок 4.1.4 – Гистограммы встречаемости и эмпирические кривые обеспеченностей параметров излучин (радиус кривизны – $a, г$; шаг – $б, д$; степень развитости – $в, е$) излучин единого и раздвоенного русла (1) и излучин разветвленного русла (2) [Чалов, Камышев и др., 2021].

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 ($l/L < 1,4$).

Сравнение излучин русла и основных рукавов раздвоенного русла с излучинами в русловых разветвлениях показывает, что у последних преобладают пологие излучины. Заметное увеличение доли крутых излучин с высокой степенью развитости в русловых разветвлениях связано исключительно со сложными трехрукавными разветвлениями, рукава которых активно меандрируют. Характерно уменьшение величин всех параметров – среднего арифметического, среднеквадратичного отклонения и медианных значений у

излучин рукавов в разветвлениях. Также для всех параметров характерно превышение значений среднего арифметического над медианой, что обусловлено высокими значениями «отскакивающих» точек и отсутствием крайне низких значений из-за величины реки и физических особенностей процесса меандрирования [Чалов, Камышев и др., 2021].

Анализ излучин в разветвленном русле нижней Оби. На нижней Оби в пределах ХМАО-Югры, включая Малую и Горную Обь и протоку Большой Нюрик, выделено 54 излучины рукавов раздвоенного русла, в т.ч. прорванных излучинах и одиночных русловых разветвлений. 7 излучин рукавов одиночных разветвлений находится на участке реки от устья р. Иртыша до п. Перегребного, 16 – на Малой Оби, 2 – в протоке Большой Нюрик, 17 – в Горной Оби, 11 – в Тоготской Оби. Для всех разновидностей излучин определялись L – шаг, l – длина по руслу, r – радиус кривизны, l/L – степень развитости. Для каждого морфологически однородного участка (рис. 4.1.5) получены характерные значения r , L и l/L излучин, определены минимальные, средние и максимальные значения параметров (табл. 4.1.3). 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].

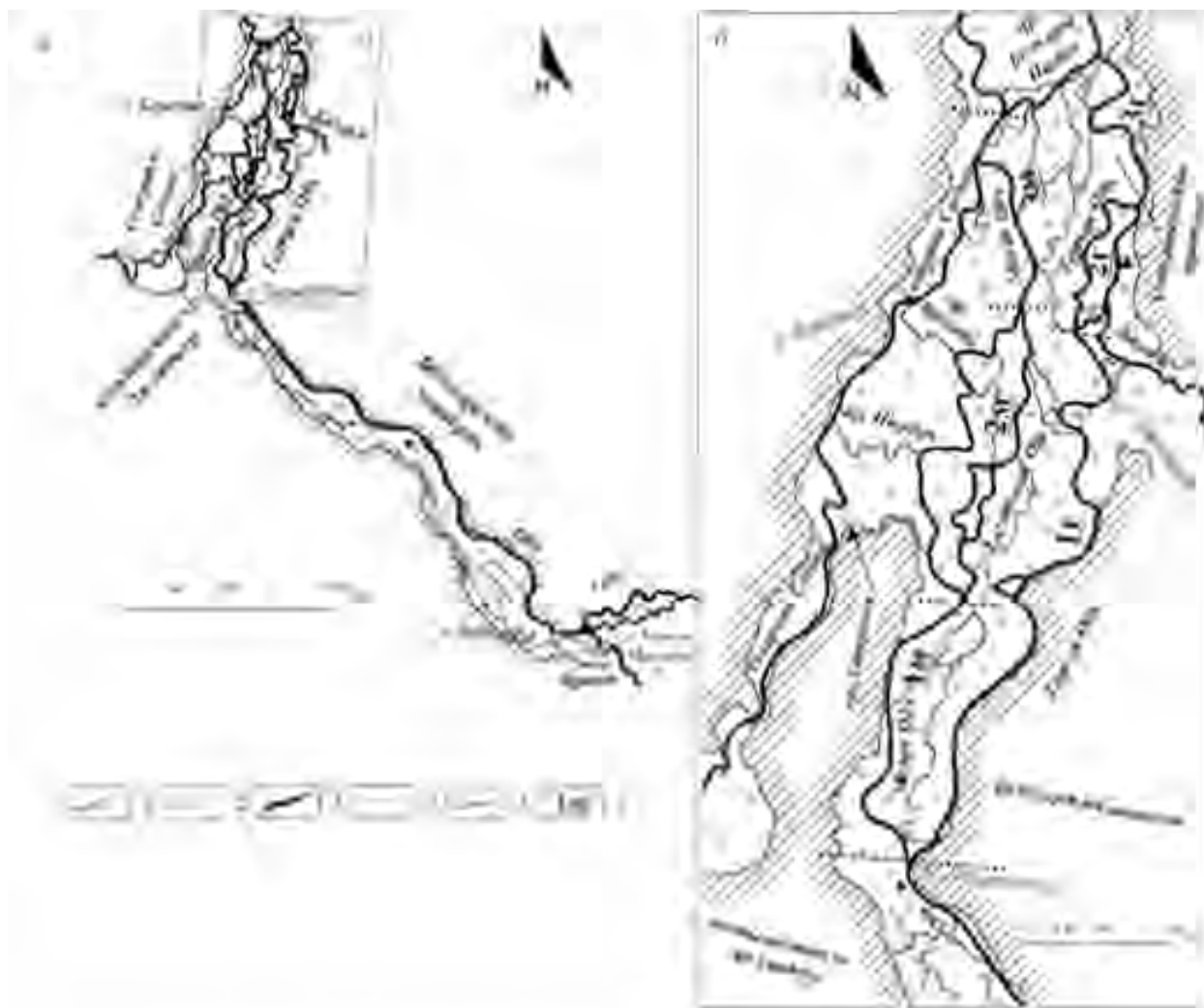


Рисунок 4.1.5 – Нижняя Обь в пределах ХМАО-Югры. 1 – коренные берега; 2 – пойма; 3 – русло Оби, рукавов раздвоенного русла и нижнего течения р. Северной Сосьвы; 4 – наиболее крупные пойменные протоки; 5 – границы участков Малой и Горной Оби; 6 – участки Малой (м) и Горной (г) Оби [Чалов, Камышев и др., 2021]

Таблица 4.1.3. Значения параметров L , r и l/L излучин рукавов раздвоенного русла, излучин рукавоврусловых 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

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

В основных рукавах раздвоенного русла происходит резкое снижение величин L и r и увеличение значений l/L по сравнению с единым руслом. При этом наблюдается дифференциация участков рукавов по значениям этих параметров. На первом участке Малой Оби (1М) излучины имеют большие величины шагов и радиусов кривизны (средние значения $L = 6,08$ км, $r = 2,90$ км), чем на втором (2М) (средние значения $L = 4,52$ км, $r = 2,63$ км); при этом l/L излучин возрастают от 1,28 до 1,39, что обусловлено уменьшением водности Малой Оби вниз по течению. Для Горной тренды изменений r , L и l/L для морфологически однородных участков (1Г, 2Г и 3Г) не прослеживается (табл. 4.1.3). Для участка 1Г характерны максимальные значения параметров ($L=5,96$ км; $r=2,63$ км; $l/L=1,58$), на участке 2Г $L = 4,34$ км, $r = 1,97$ км, а $l/L = 1,47$, что связано с ответвлением Сомутнельской протоки и снижением расхода воды в Горной Оби. После слияния с Сомутнельской протоки на участке 3Г средняя величина L сокращается до 4,25 км, а r возрастает до 2,14 км, l/L при этом практически не изменяется – 1,50. Это не согласуется с увеличением водности ниже слияния с Сомутнельской протокой и, вероятно, обусловлено статистической неустойчивостью средних значений параметров в связи с малым количеством изгибов русла на участке (5 шт.). Для Тоготской Оби средние $L = 2,55$ км, $r = 1,14$ км и повышенные $l/L = 1,71$, минимальные L и r и большая l/L связаны с невысокой ее водностью верхней части, где сосредоточены все излучины, и вторичным раздвоением – протокой Ньюлас.

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

Связь параметров излучин русла рукавов раздвоенного русла и излучин рукавов одиночных разветвлений с их водностью (Малая, Горная и Тоготская Обь) прослеживается, но она не устойчива и может нарушаться вследствие изменчивости водности рукавов по их длине [Чалов, Камышев и др., 2021].

На Малой Оби в пределах ЯНАО (после ответвления от нее протоки Большой Нюрик) преобладают свободные излучины (40.2% ее длины), происходит частая смена морфологически однородных участков. В трех местах, где река подходит к левому борту долины, формируются три вынужденные излучины. Среди излучин встречаются синусоидальные с соотношением $r < 2.5b_p$ (r – радиус кривизны излучин, b_p – ширина русла), у которых динамическая ось потока проходит вдоль выпуклого берега, формируется местное расширение русла и возникает водоворотная зона. Все такие излучины (их пять) находятся между заходом и устьем протоки Малая Горная Обь, где относительная водность Малой Оби сокращается на 25%, а по отношению ко всей реке – до 11%. Степень развитости свободных излучин варьирует от 1.10 до 1.94. Пологие излучины ниже истоков пойменных притоков или рукавов раздвоенного русла (Большой Нюрик, Малая Горная Обь) осложнены разветвлениями 2-го порядка, образованными элементарными, или малыми, островами.

На Большой Оби из-за преимущественного расположения вдоль правого коренного берега доля излучин – 20.6% (52 км). Специфическими являются две обтекающие излучины – изгибы русла вдоль выступов правого коренного берега и одна вписанная излучина, вогнутый берег которой представлен низкой песчаной надпойменной террасой. Свободных излучин всего две, они образуют морфологически однородный участок в верхней части рукава, где он еще не подошел к коренному берегу.

Для всех излучин Малой Оби определены L – шаг, l – длина, r – радиус кривизны, l/L – степень развитости. Для каждого участка получены характерные значения r , L и l/L – минимальные, средние, максимальные (табл. 4.1.4). Значения шагов и радиусов кривизны излучин от протоки Большой Нюрик до истока протоки Мояхтас отличаются наибольшими величинами: $L_{\max} = 5.2$ км при $L_{\text{ср}} = 4.4$ км; $r_{\max} = 2.53$ км, $r_{\text{ср}} = 2.04$ км; l/L незначительная, все излучины пологие (17): максимальная – 1.33, минимальная – 1.14. Вниз по течению происходит снижение величин L и r и увеличение значений l/L , что

связано с отвлечением части стока в пойменные протоки. Наименьшие значения шага и радиусов кривизны – на участке ниже ответвления Малой Горной Оби: $L_{cp} = 1.57$ км, $r_{cp} = 0.77$; здесь же $(l/L)_{max} = 1.69$. Две свободные излуины Большой Оби (в верхней ее части) отличаются большими значениями параметров, что соответствует большой ее водности по сравнению с Малой Обью ($r = 2.6$ и 3.5 км, $L = 5.5$ и 5.6 км, $l/L = 1.7$ и 1.8) [Чалов, Завадский, Камышев, 2021].

Таблица 4.1.4. Параметры излучин Малой Оби [Чалов, Завадский, Камышев, 2021]

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

4.2. Гидролого-морфологический анализ разветвлений.

Разветвления на рукава – один из основных типов русла, свойственный для больших и крупнейших рек. Главной причиной формирования нескольких рукавов является значительная водоносность реки, в этом случае в потоке может сформироваться несколько динамических осей, между которыми наблюдается отложение наносов. В начале 30-х гг. в лабораторных условиях А.И. Лосиевский [1934] установил, что для потока в широком русле характерны несколько ветвей течения. В дальнейшем факт разделения широкого потока на ряд динамических осей стал рассматриваться как основное условие формирования разветвленного русла.

В настоящей работе в качестве ключевого параметра, характеризующего сложность разветвления было выбрано отношение количества островов к длине участка – n/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. 4.2.1 и 4.2.2) показывает широкую дифференциацию данного параметра как по длине рек, так и по типам русла.

При среднем для Оби значении $n_o/l = 2,18$ максимальное наблюдается на верхней Оби сразу после слияния р.Бии и Катунь – 5,0, где расположены самые сложные в морфологическом плане параллельно-рукавные разветвления, минимальные значения характерны для средней и нижней Оби (0,1). По типам усреднённые значения сложности разветвлений (n_o/l) распределены следующим образом: параллельно-рукавные разветвления – 2,44, варьируя от 5,0 на участке слияния рек Бия и Катунь – устье р. Чарыша, где оно составляет 64% от его длины, до 0,39; односторонние имеют значение 0,90 (максимальное значение 2,63, минимальное – 0,27), одиночные – 0,69 (максимальное значение - 2,58, минимальное значение - 0,22); сопряжённые – 0,53 (максимум - 0,66, минимум - 0,37), на прорванных излучинах – 0,40 (максимум - 0,79, минимум - 0,18), пойменно-русловые – 0,35 (максимум - 0,96, минимум - 0,11). Дельтовые (их всего три) очень разнообразны: самое сложное в узле слияния Бии и Катунь – 2,14; в устье Чарыша $n_o/l = 1,15$; при слиянии с Томью (пойменно-русловое разветвление) - $n_o/l = 0,5$).

Динамика сложности разветвлений для основных рукавов раздвоенного русла Малой и Горной Оби (совместно с Большой Обью) представлена на рисунках 4.2.2 и 4.2.3. Среднее значение сложности разветвлений Малой Оби составляет 0,27, на Горной и Большой Оби – 0,19, на Большой Оби и едином русле после их слияния – 0,22. Тренд на изменение сложности разветвлений по длине рукавов раздвоенного русла не прослеживается несмотря на высокую динамику их водности. Максимальное значение сложности разветвлений в пределах всего раздвоенного русла составляет 0,45 (Малая Обь). Минимальное значение составляет 0,07 и приходится на крупное одиночное разветвление Большой Оби.

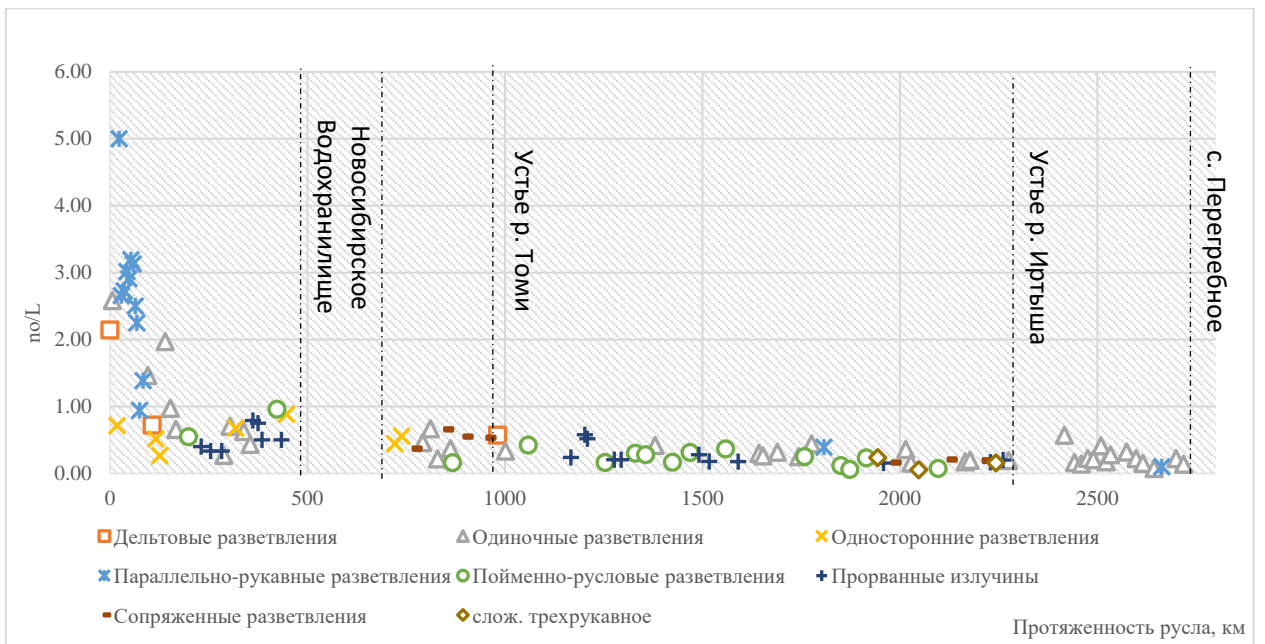


Рисунок 4.2.1 – Изменение степени сложности разветвлений русла n_o/l по длине Оби до участка раздвоенного русла в районе с. Перегревного

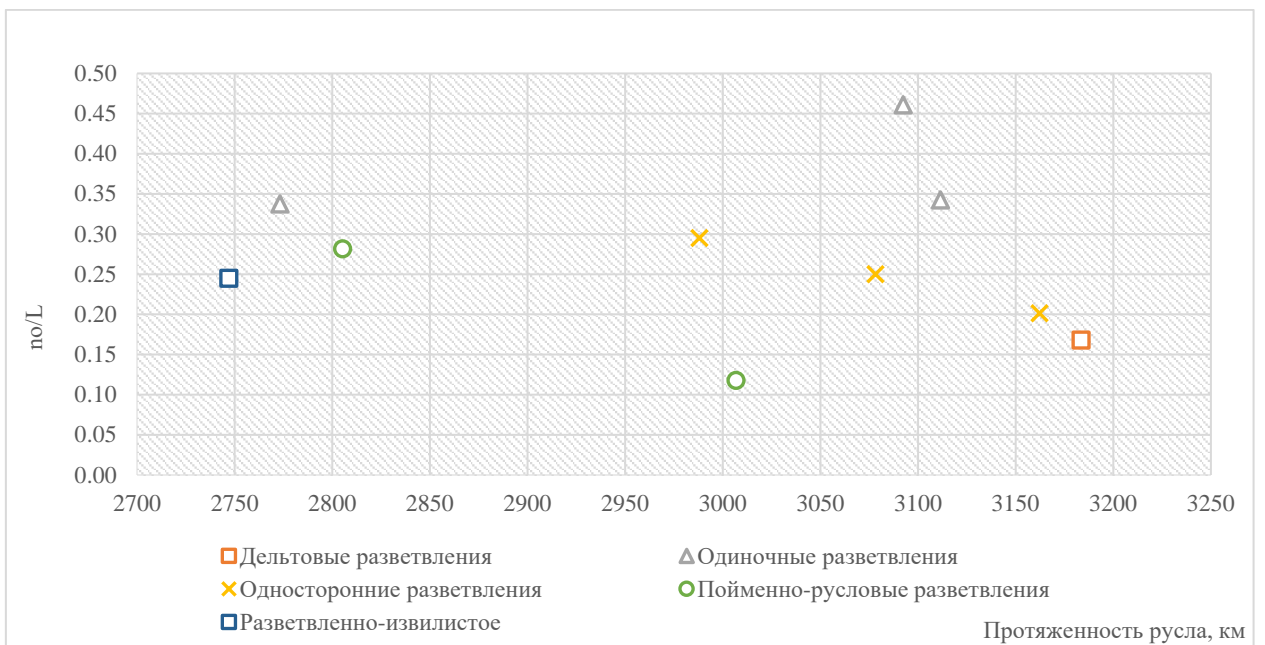


Рисунок 4.2.2 – Изменение степени сложности разветвлений русла n_o/l по длине Малой Оби

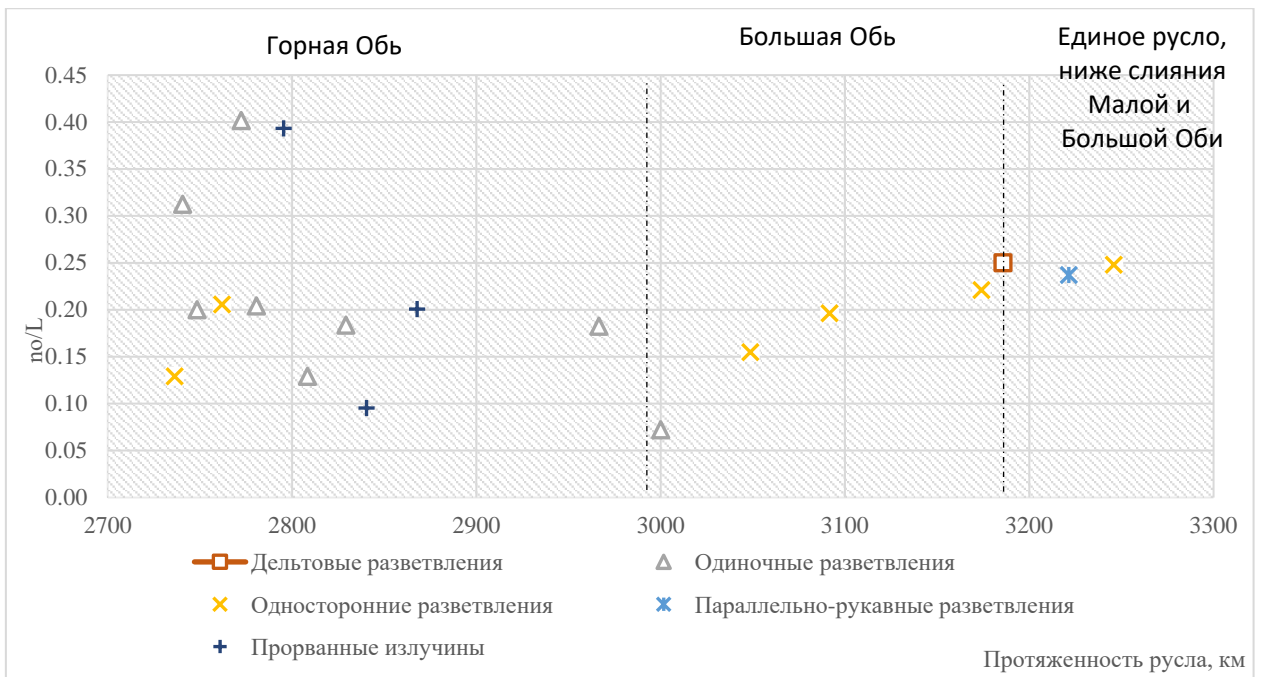


Рисунок 4.2.3 – Изменение степени сложности разветвлений русла n_o/l по длине Горной и Большой Оби

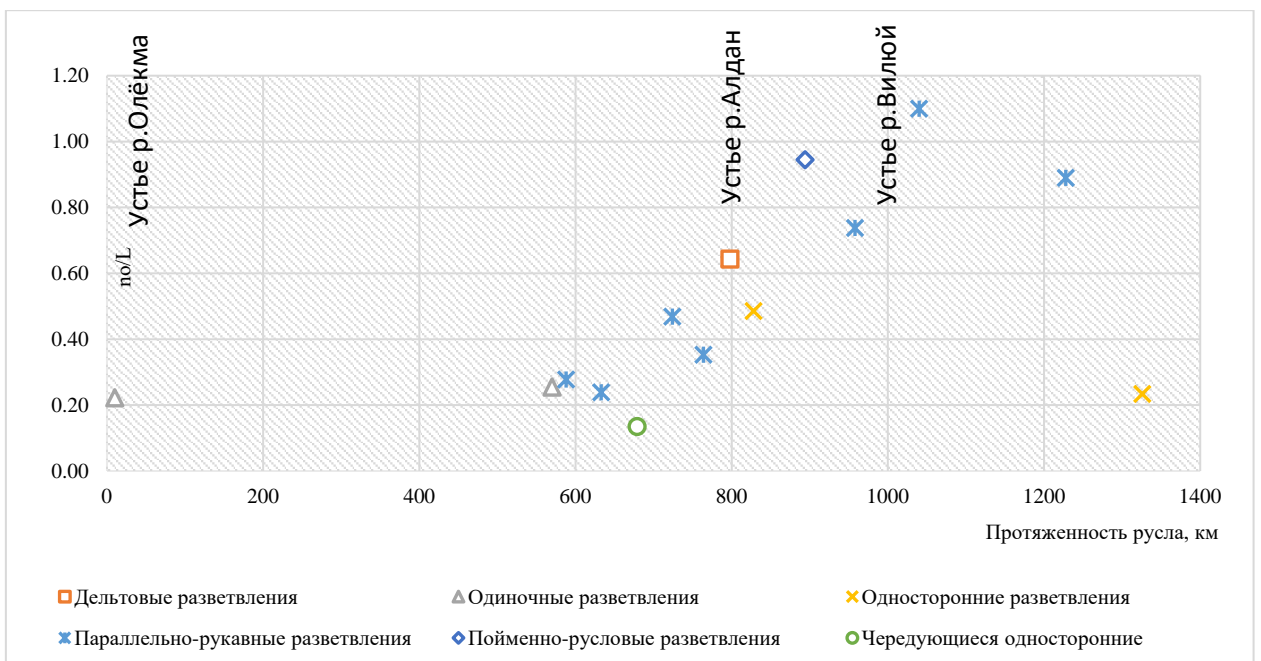


Рисунок 4.2.4 – Изменение степени сложности разветвлений русла n_o/l по длине Лены.

Причина экспоненциального снижения сложности разветвлений по длине Оби объясняется рядом причин, главной из которых является устойчивость русла, выраженная в числе Лохтина $L=d/H$ (здесь d – средний диаметр наносов, H – километрическое падение свободной поверхности потока). Число Лохтина в широких пределах изменяется по длине реки (рис. 4.2.5). На верхней Оби происходит направленное увеличение устойчивости

русла. Для средней Оби прослеживается такая же картина, кроме первых двух точек повышенных значений устойчивости, соответствующих участку интенсивного размыва русла на приплотинном участке нижнего бьефа, и, как следствие, увеличения крупности наносов.

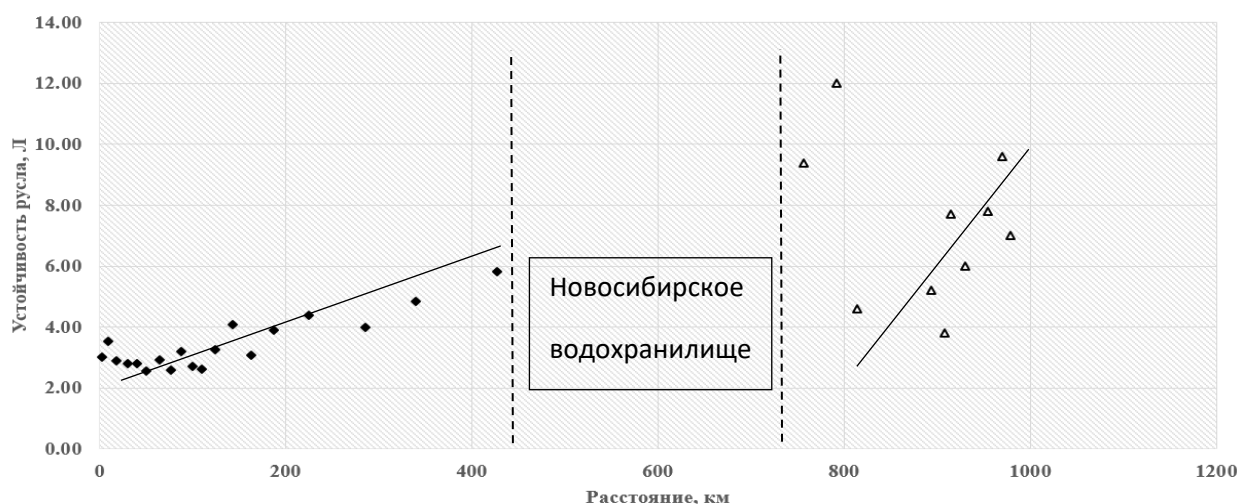


Рисунок 4.2.5 – Изменение устойчивости русла по длине реки Оби.

Для р. Лены свойственен квазиравномерный рост сложности разветвлений, что в первую очередь обусловлено снижением устойчивости. Среднее значение сложности русла на р. Лене составляет 0,5, максимальное значение – 1,1 (параллельно рукавное разветвление), минимальное – 0,13 (чередующиеся односторонни).

Разница в величинах сложности разветвлений связана разницей в водности реки, которая определяет средний размер островов, то есть при увеличении водности реки возрастает средний размер островов [Голубцов, Чалов, 2020], соответственно их количество на единицу длины реки сокращается, что приводит к уменьшению сложности разветвлений. Водность параллельно-рукавных разветвлений верхнего течения Оби и схожих по морфологии параллельно-рукавных разветвлений р. Лены 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.

Для всех разветвлений, а также для других типов русла была определена ширина русла (без островов) и суммарная ширина русла (с островами) (рис. 4.2.7-4.2.10). Максимальная ширина русла (без островов, в пойменных бровках) Оби соответствует неустойчивому разветвлённому руслу непосредственно ниже слияния Бии и Катуня – 2,6 км и пойменно-русловым разветвлениям средней Оби (сумма ширин обоих рукавов) – 2,45-2,51 км. На Лене максимальные значения ширины русла свойственны участку реки ниже впадения р. Вилюя (от 6 км до 8 км). Суммарная ширина русла (вместе с островами)

для Оби наибольшая в пойменно-русловых 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 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 Катуня обусловлена очень низкими значениями устойчивости русла (русло здесь неустойчивое). На Лене рост ширины не дифференцируется по типам русла и довольно устойчив 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. 4.2.6). Верхняя из которых соответствуют участкам русла с осередковой разветвленностью, а нижняя консолидированному руслу, не осложненному островной или осередковой разветвленностью. На Лене все участки прямолинейного русла осложнены осередками или мелкими островами, не формирующими отдельного морфодинамического типа. В результате чего ширина прямолинейного русла р. Лены может превышать ширину отдельных участков разветвлений.



Рисунок 4.2.6 – Ширина прямолинейного русла р. Оби

- 1 – прямолинейное русло, осложненное осередками или вторичными разветвлениями;
- 2 – прямолинейное русло без осередков и небольших островов.

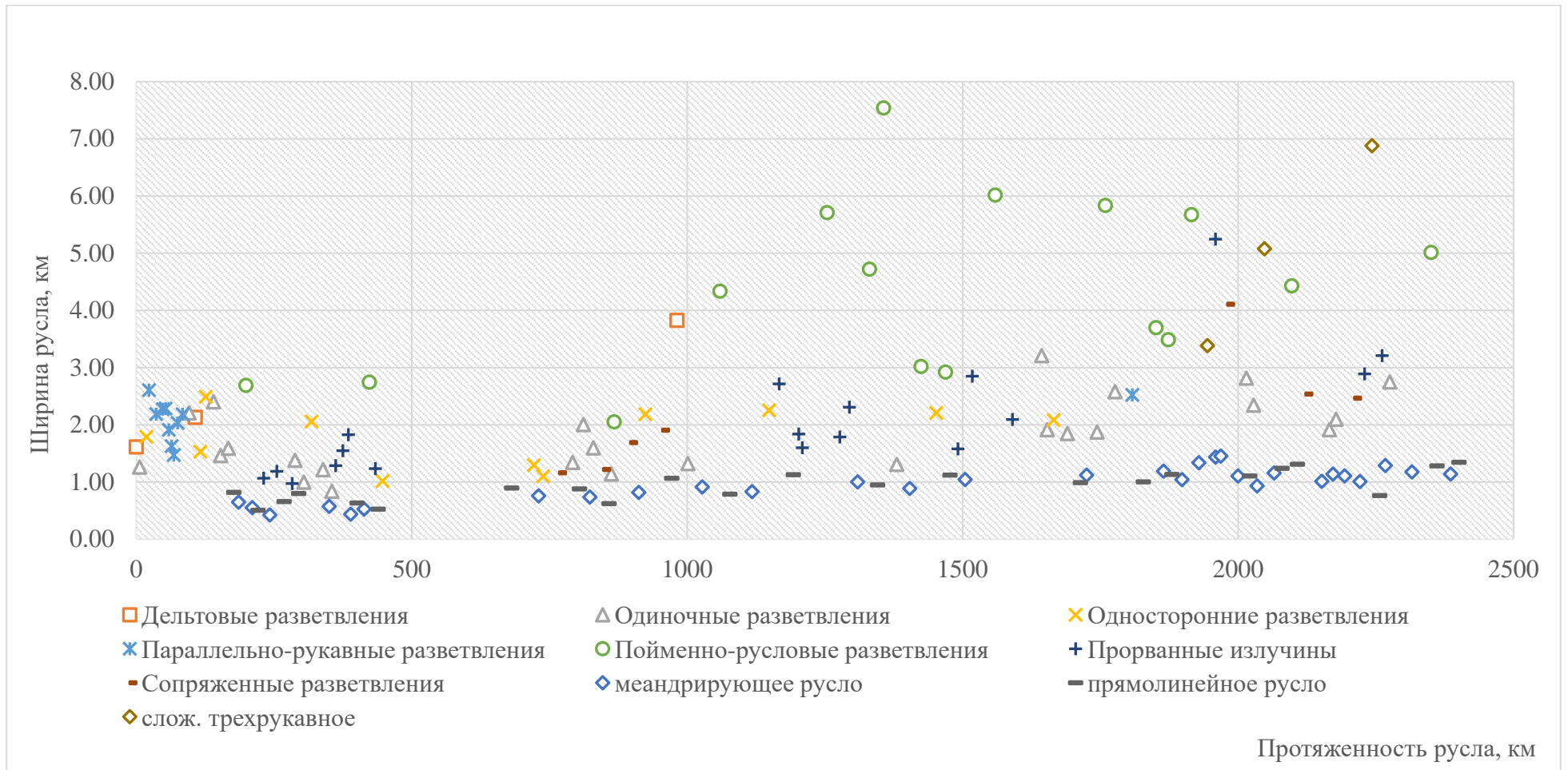


Рисунок 4.2.7 – Изменение суммарной (с островами) ширины Оби русла для различных типов русла.

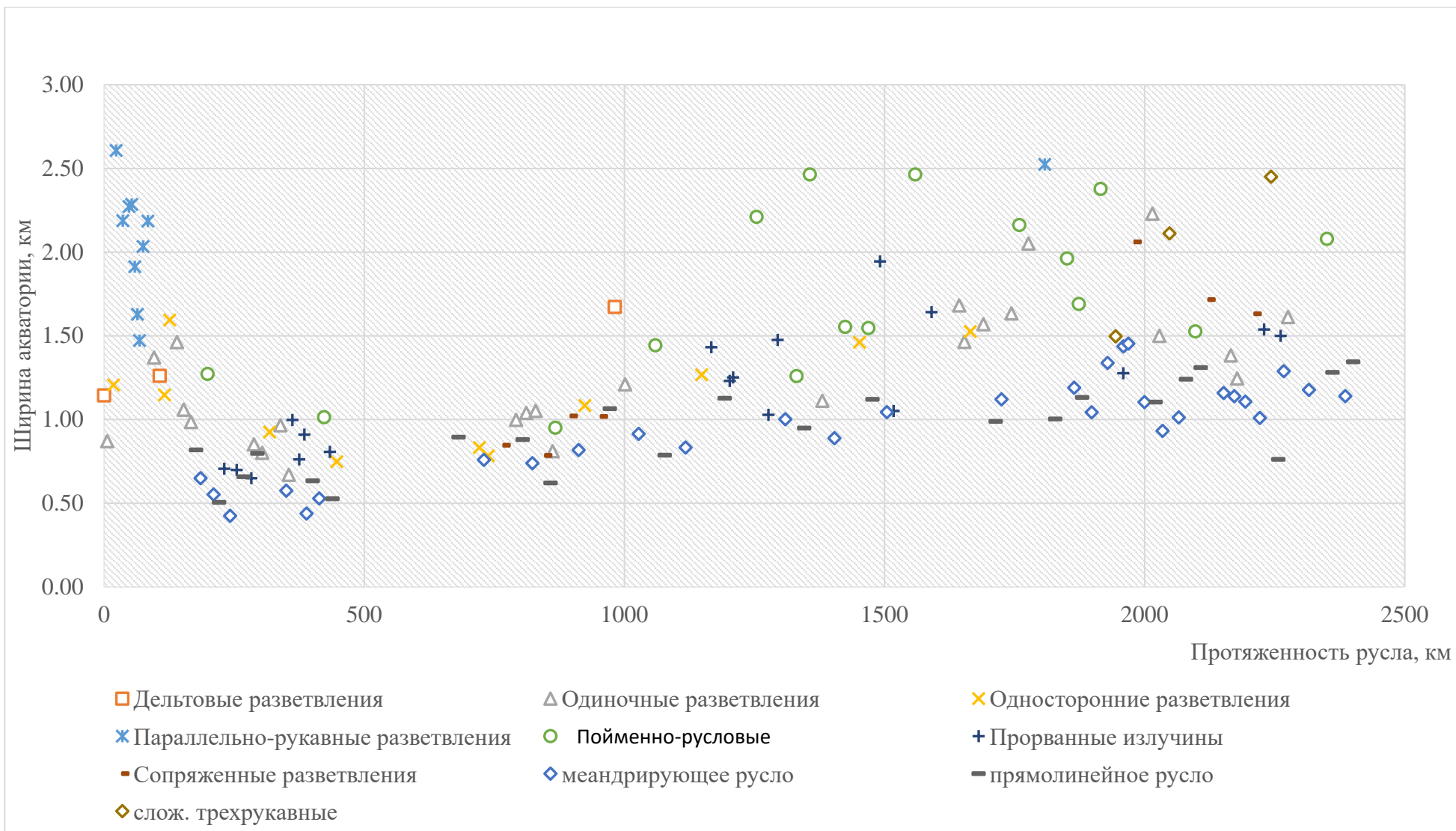


Рисунок 4.2.8 – Изменение ширины русла Оби (без островов) для различных типов русла

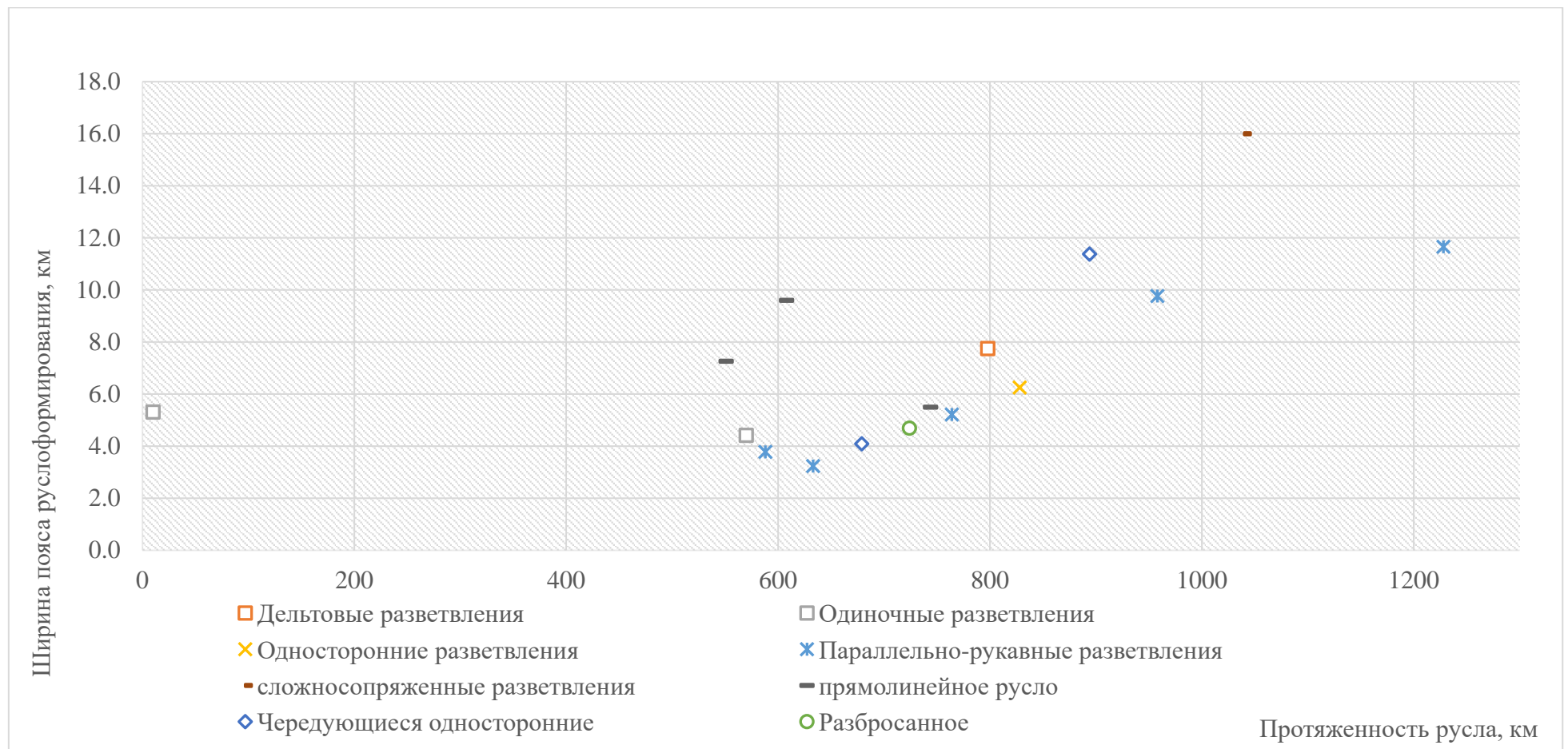


Рисунок 4.2.9 – Изменение суммарной (с островами) ширины Лены русла для различных типов русла.

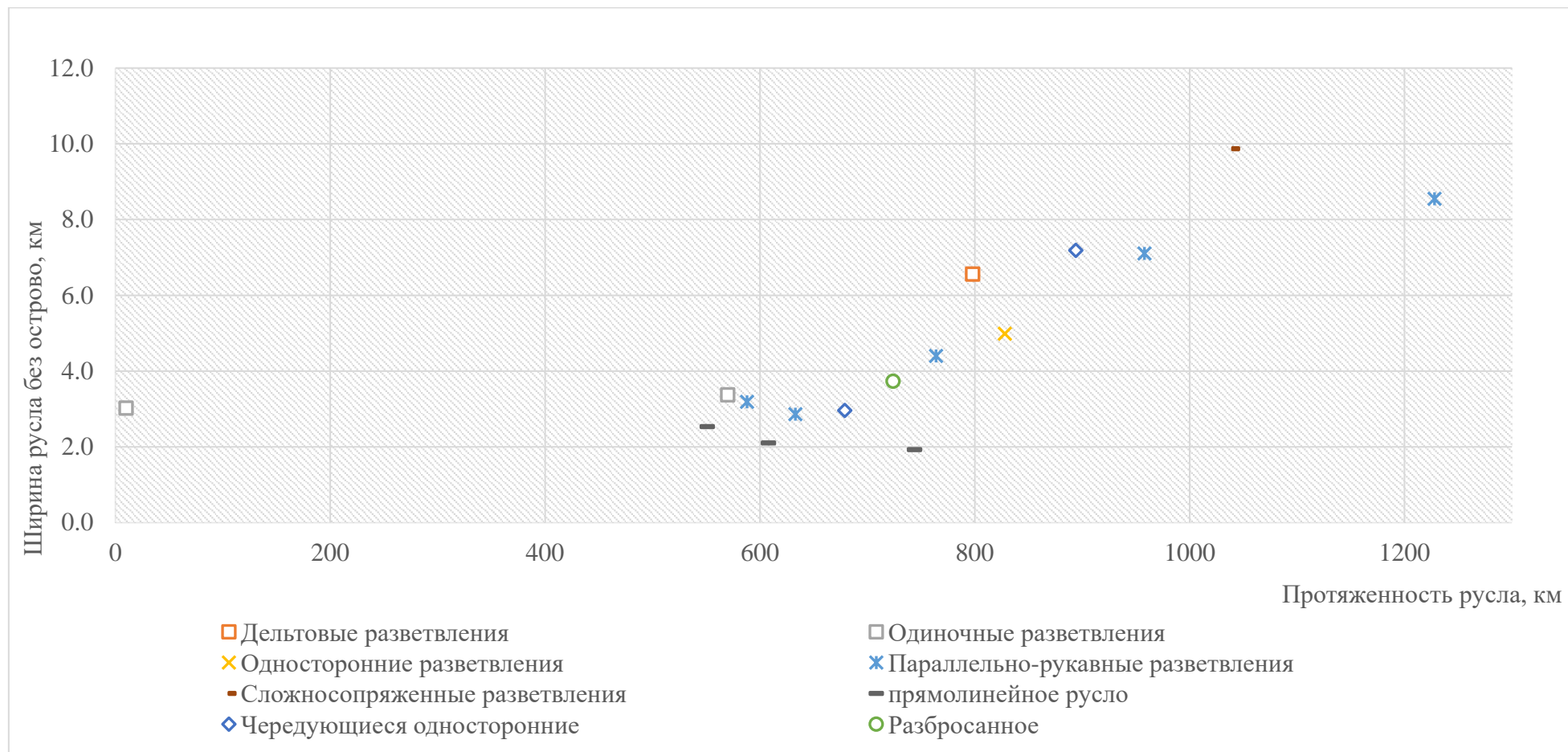


Рисунок 4.2.10 – Изменение ширины русла Лены (без островов) для различных типов русла

4.3 Критерий квазиоднородности потока Карасёва.

Особого внимание 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 Карасевым коэффициент Θ , основывается на различиях в структуре и динамике потока, обусловленных разницей в форме поперечного сечения русла и отличиях в шероховатости. Соотношение b_p к h называется полнотой поперечного сечения, ее численное значение также определяет особенности развития поперечной циркуляции. В изгибах русла, где отношение b_p к h близко к единице, образуется винтообразное течение. 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 сложность русла. На основе лабораторных опытов Карасев установил, что при значениях критерия больше 9,5 в потоке формируется 2 или более динамической оси, между ними наблюдаются зоны с замедленным течением, способствующим к отложению наносов и формированию разветвленности.

При этом исследований по расчету величины критерия Карасева для крупнейших рек не производилось.

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 с.Перегребного). Определение величин, входящих в критерий Карасева, производилось по лотманским и данным русловых съемок, для этого определялись значения ширины и средней глубины русла в характерных створах, назначенных по нормали к оси потока. К основным задачам определения численных значений критерия Карасева относятся:

- поиск связи между данным критерием и сложностью разветвлений;
- проверка на реальных реках критических значений критерия, полученных в лабораторных условиях;
- установление причин преобладания процесса меандрирования на средней и нижней Оби;

- определения характерных значений параметра для различных типов русла.
 Дифференция точек по типам русла представлена на рисунках 4.3.1 и 4.3.2.

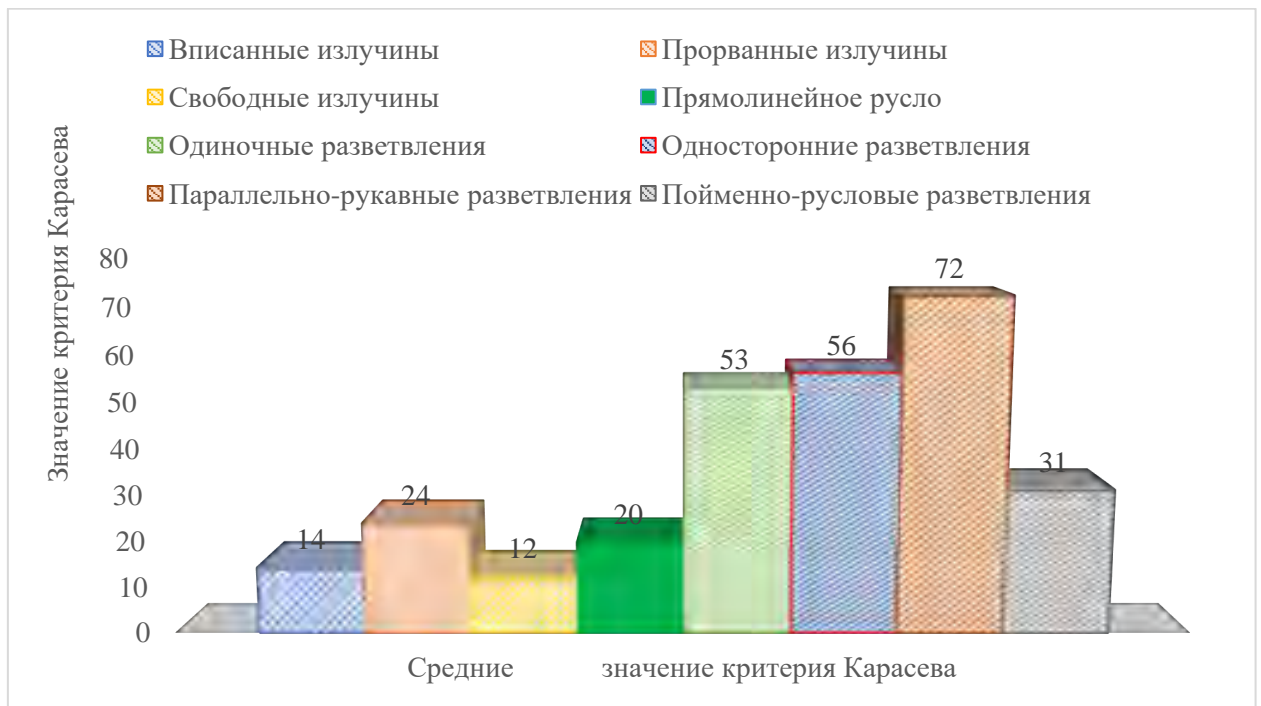


Рисунок 4.3.1 – Средние значения критерия Карасева для различных типов русла р. Оби

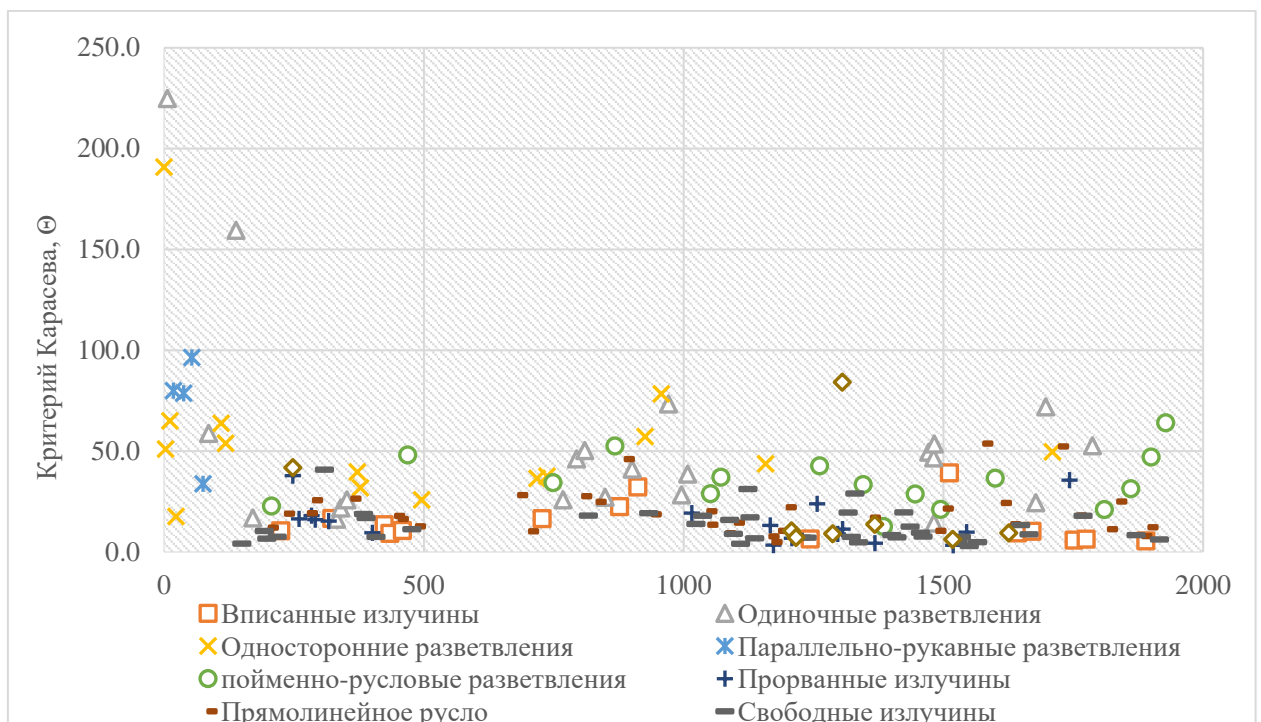


Рисунок 4.3.2 – Динамика критерия Карасева по длине р. Оби

Наибольшее значение критерия соответствует параллельно-рукавным разветвлениям – 72, для которых свойственна наибольшая сложность конфигурации русла и минимальная устойчивость русла. Высокие значения характерны для односторонних и

одиноким разветвлениям – 56 и 53 соответственно. Для остальных типов русла значения критерия значительно ниже: 31 для пойменно-русловых 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 автором показателя И.Ф. Карасевым граничными значением (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. При этом диапазон критерия только для излучин варьирует от 2,93 до 40,7, однако 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 (рис. 4.3.3). Что хорошо соотносится со сложностью разветвлений с высокой степенью корреляции, значение коэффициента которой составляет 0,83 (рис.4.3.4).

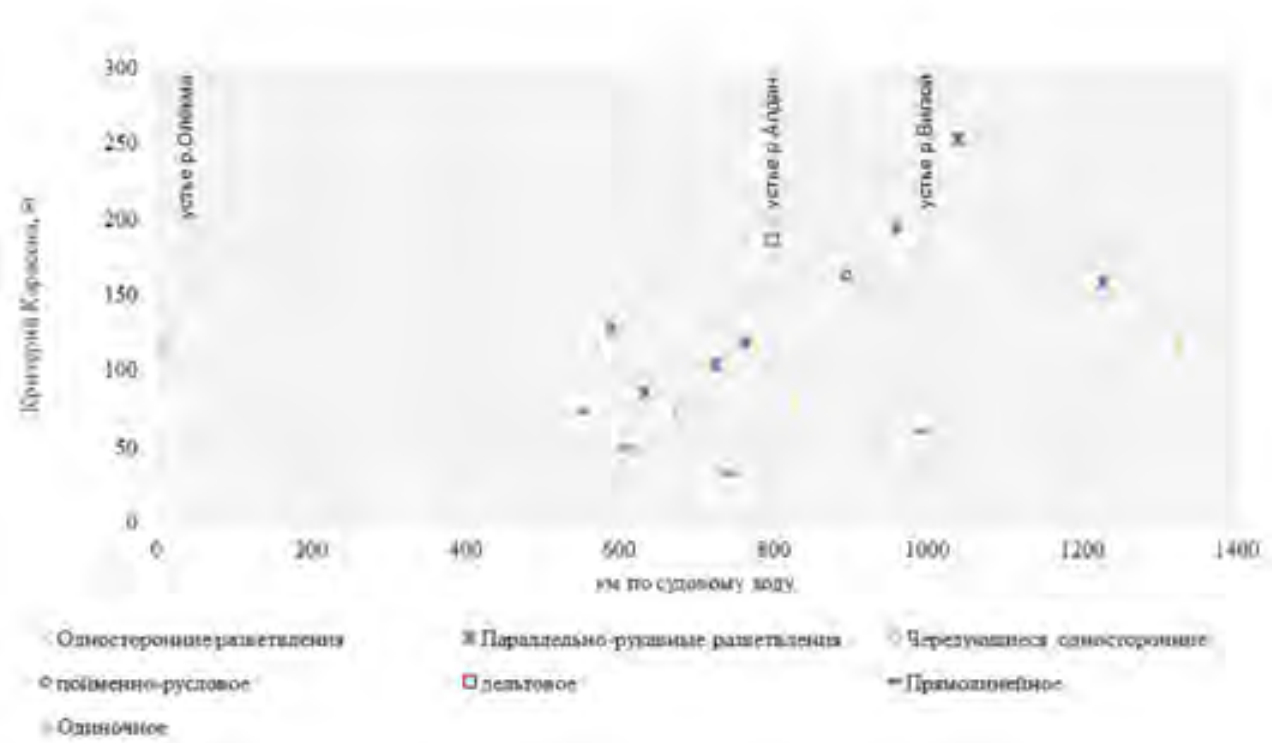


Рисунок 4.3.3 – Значения Критерия Карасева на р.Лене

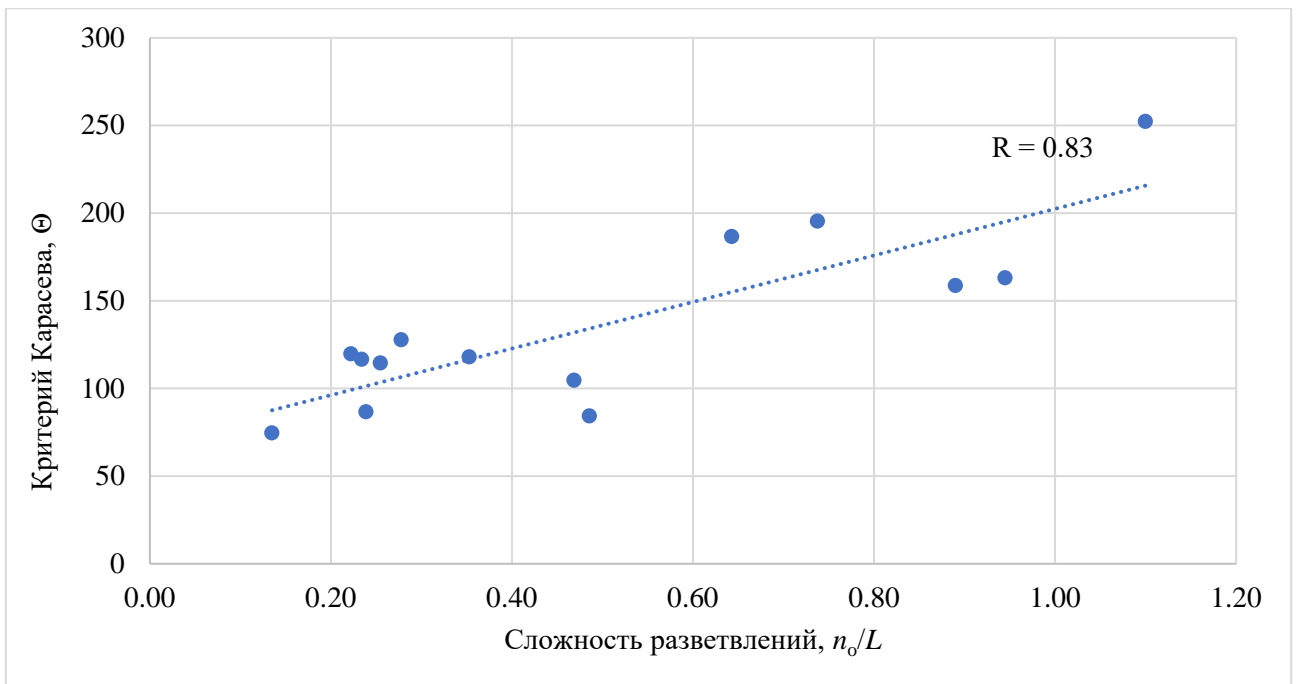


Рисунок 4.3.4 – Связь критерия Карасева со сложностью разветвлений

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. 4.3.5) показало, что для лены свойственны гораздо большие значения.



Рисунок 4.3.5 – Сравнение значений критерия Карасева на р. Лене и р. Оби

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

5. Анализ русловых переформирований

Анализ русловых деформаций производился на основе сопоставления лоцманских карт, изданных в различные годы, разновременных космических снимков и съемок русла. 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.

Река Лена. В широкопойменном русле Лены выделяется четыре морфологически однородных участка:

- 1) от г. Покровска до Кангаласского мыса;
- 2) от Кангаласского мыса до слияния с р. Алданом;
- 3) от устья р. Алдана до впадения р. Вилюя;
- 4) от устья р. Вилюя до с. Жиганска.

Участок от г. Покровска до Кангаласского мыса.

Для участка характерна серия последующих друг за другом крупных расширений речной долины (от г. Покровска до Табагинского утеса), между Табагинским мысом и Кангаласским камнем, а также ниже по течению. Выше по течению река развивается в стесненных условиях узкой долины и имеет врезанное русло. Расширение долины после города Покровска обуславливает снижение транспортирующей способности из-за распластывания потока и сокращения средних скоростей течения воды, это приводит к локальной аккумуляции наносов и развитию поймы; с другой стороны это приводит к возможности интенсивного размыва берегов и формированию форм руслового рельефа, присущего руслам с широкими поймами. На данном участке около 80% протяженности его берегов в некоторой степени подвержены направленному воздействию потока; до 60 км береговой линии за последние два десятка лет отступало со скоростями более 4 м/год. Размываемые берега выступают в качестве важнейшего источника поступления наносов в водный поток, вместе с частичной аккумуляцией наносов, приходящих транзитом с вышерасположенных участков реки. Это является причиной формирования протяженных перекатных участков [Завадский, Фингерт и др., 2019].

Одним из важнейших процессов, во многом определяющим направленность русловых переформирований, является размыв высокой левобережной поймы и системы прибрежных островов вдоль основного по водности рукава. Средние темпы отступления берега составляют здесь 4-5 м/год при общей протяженности фронта размыва более 18 км. При этом за последние 50 лет интенсивность смещения берега в результате размыва остается практически неизменной. Являясь мощнейшим источником наносов (суммарный

ежегодный объем наносов, поступающих в водный поток в результате размыва берега, достигает 1 млн. м³/год, размывы вызывают формирование ниже сложных параллельно-рукавных разветвлений.

По характеру деформаций весь участок (от г. Покровска до Кангаласского мыса) можно разделить на четыре отрезка: Покровское разветвление, «разбой» Рассолода, участок до Табагинского мыса и Якутский узел.

Покровское разветвление представляет собой в общем плане одиночную многорукавную систему с периодическим изменением положения стрежневой зоны потока. Начиная с 70-х годов наблюдается обмеление левобережной протоки, которая к 1982 г оказалась в значительной степени закупоренной высокими песками, отметки гребней которых на несколько метров превышали проектные отметки уровней воды.

Начиная с 90-х годов произошел размыв массива молодых пойменных островов, сформировавшихся средней протоке. Это привело к увеличению расхода воды в протоке. Трансформация стока воды сопровождалась интенсивными размывами берегов поймы и островов.

«Разбой» Рассолода, находящийся ниже по течению, представляет собой параллельно-рукавное русло. Здесь поток разделяется на ветви: правую, тяготеющую к высокой пойме и левую, проходящую у левого массива прибрежных островов. Ветви течения разделены между собой цепочкой небольших островов и подвижными прирусловыми отмелями, по протокам между которыми происходит постоянная гидравлическая связь основных ветвей течения. Подвижные побочки определяют значительное искривление фарватера (рис. 5.1). Отсутствие опорных берегов почти на всем протяжении 15-километрового участка фарватера, многочисленные протоки, сочленяющиеся с ним и в межень служащие "нерабочими" емкостями, приводят к обсыханию положительных форм руслового рельефа [Чалов, Завадский и др., 2019].

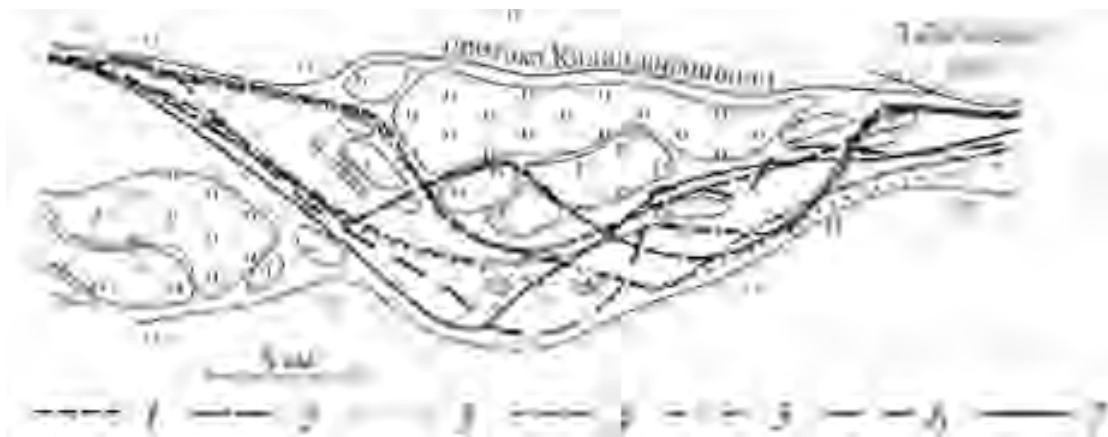


Рисунок 5.1 – Изменения положения основного русла в «разбое» Рассолода:

1 – 1934 г; 2 – 1951 г; 3 – 1972 г; 4 – 1982 г; 5 – 2000 г; 6 – 2010 г; 7 – 2017 г. [Чалов, Завадский и др., 2019]

После «перевала» основного русла в правобережную часть долинного комплекса, в целом попадает под контроль высокого пойменного берега. Динамика пойменного ведущего берега тесно связана с русловыми переформированиями в «разбое» Рассолода. По мере изменения положения стрежня потока усиливается или ослабевает размыв берегов, смещаются плесовые участки и зоны аккумуляции наносов. В начале XXI в. основной поток подходил непосредственно к правобережной пойме, интенсивно (3-5 м/год) его размывая и формируя вдоль него протяженную плесовую ложину. Произшедшая выше по течению перестройка русла (когда основной расход воды переместился из левобережного русла) способствовала постепенному смещению основного потока в левобережную часть русла и началу формирования вдоль правобережной части зоны аккумуляции. Такой характер русловых переформирований привел к некоторому снижению интенсивности размыва правого пойменного берега, хотя темпы смещения береговой линии остаются достаточно высокими (2-5 м/год).

Якутский узел (от Табагинского до Кангаласского мысов) является один из наиболее сложных в плане русловых процессов участков р. Лены, протяженность которого составляет около 70 км. Деформации русла высокой интенсивности, размывы берегов, большое количество подвижных отмелей определяют сложную картину русловых деформаций. На Это дополнительно накладывается произошедшее за XX в. изменение морфодинамических типов русла [Чалов, Завадский и др., 2016].

Якутский узел располагается в нижней части крупного расширения долины (его местное название – Туймаада), замыкающегося Кангаласским камнем, образующим сужение долины Лены и имеющим высоту около 120 м. В центральной части расширения река подмывает по правобережью 40-метровый обрыв песчаной Бестяхской террасы.

В XIX–начале XX веков русло в Якутском узле представляло собой вместе со смежным участком выше по течению (до г. Покровска) единую систему сопряженных разветвлений [Чалов, Завадский и др., 2019] (рис. 5.2).

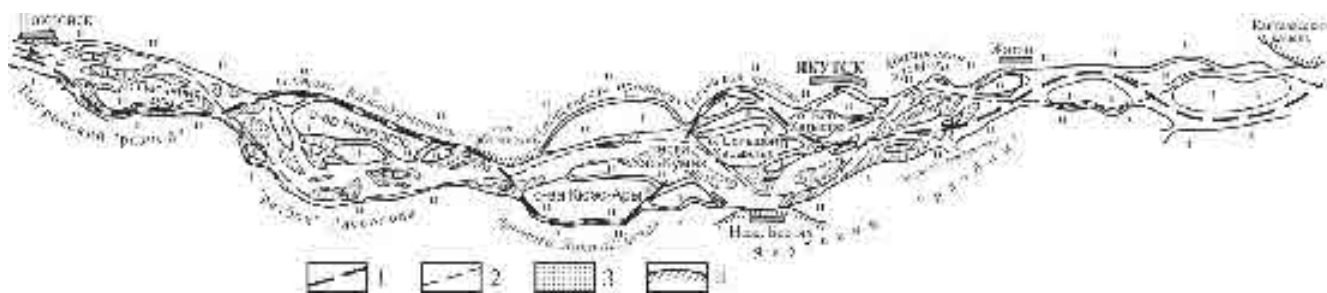


Рисунок 5.2 – Сопряженные разветвления р. Лены от г. Покровска до Кангалсс, существовавшие в XIX – начале XX вв. 1 – оси основных рукавов сопряженных разветвлений (а, б); 2 – пойма; 3 – прирусловые отмели; 4 – коренные берега [Чалов, Завадский и др., 2019].

Вся система была сформирована из 7 звеньев, в каждом из которых главным был один рукав, имеющий большую водность. Положение главного рукава попеременно располагалось у противоположных берегов. В настоящее время они являются маловодными пойменными протоками (ответвлениями), которые зачастую пересыхают летом и перемерзают в зимний период. К таким относится Городская протока, на берегу которой был основан город Якутск, когда она представляла основным многоводный рукав Лены. Деградация рукавов, бывших в прошлом основными, по всей длине сопряженных разветвлений сопровождалась их трансформацией в пойменные протоки. При этом полного их отмирания не наблюдается, так как в них во время весеннего половодья время в периоды заторных явлений отклоняются значительные доли расхода воды, обходящие по пойменным массивам ледовые заторы. Все функционирующие пойменные рукава на данном участке располагаются выше мест заторообразования [Чалов, Завадский и др., 2019].

Трансформация сопряженных разветвлений в Якутском узле с конца девятнадцатого века привела к формированию прямолинейного неразветвленного русла в начале участка, непосредственно ниже сужения реки Табагинским утёсом, параллельно-рукавного русла около г. Якутска, включая разветвление у острова Пономарева и Бестяхский рукав выше по течению, и чередующихся односторонних разветвлений, которые находятся ниже о. Пономарева (в районе п. Жатай – Кангаласский Камень).

Современные деформации русла в районе Якутского «разбоя» протекают на фоне: 1) интенсивных размывов берегов, которые являются мощными источниками наносов; 2) смещениями вниз по течению пойменно-островных массивов, что проявляется в размывах их оголовков и формировании крупных отмелей и кос в ухвостьях островов; 3) образованием и отчленением побочней, формированием и зарастанием осередков, их движением вдоль русла; 4) углублением плесовых лощин вдоль подмываемых берегов [Чалов, Завадский и др., 2019].

Намский узел. На протяжении всей второй половины XX столетия конфигурация русла ниже Кангаласского Камня оставалась относительно неизменной, чему способствовал направленный перевал потока от стабильного коренного левого берега (Кангаласский камень) к правому борту долины, а ниже по течению – обратно к левобережной пойме. То-есть, здесь формируются чередующиеся изгибы русла с

выраженными зонами размыва (рис. 5.3 и 5.4) и аккумуляции последовательно противоположных берегов. При этом скорости размыва берегов могут достигать 10-15 м/год.

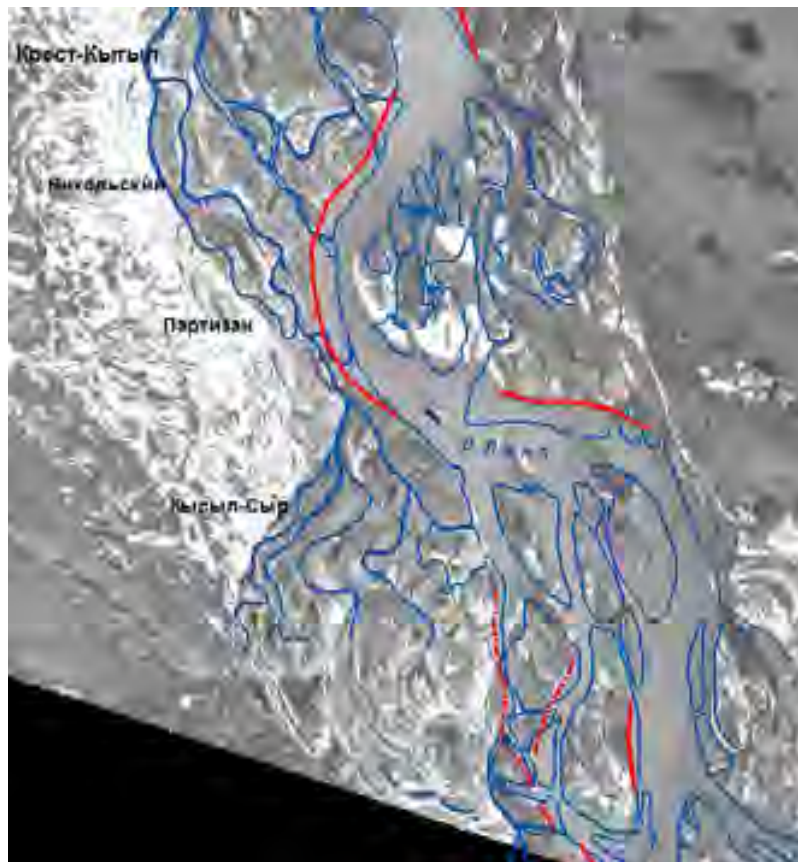


Рисунок 5.3 – Формирование изгибов и размыв вогнутых берегов (красные линии) в основном русле р. Лены ниже Кангаласского мыса по сопоставлению картографического материала 1970-х гг (синяя линия) и космического снимка 2018 г [Архивные материалы НИЛ Эрозии почв и русловых процессов, 2019].

В последнее десятилетие непосредственно ниже Кангаласского Камня произошло перераспределение стока и развитие левого рукав – Буденновской протоки, вследствие чего здесь также сформировался участок параллельно-рукавного русла.

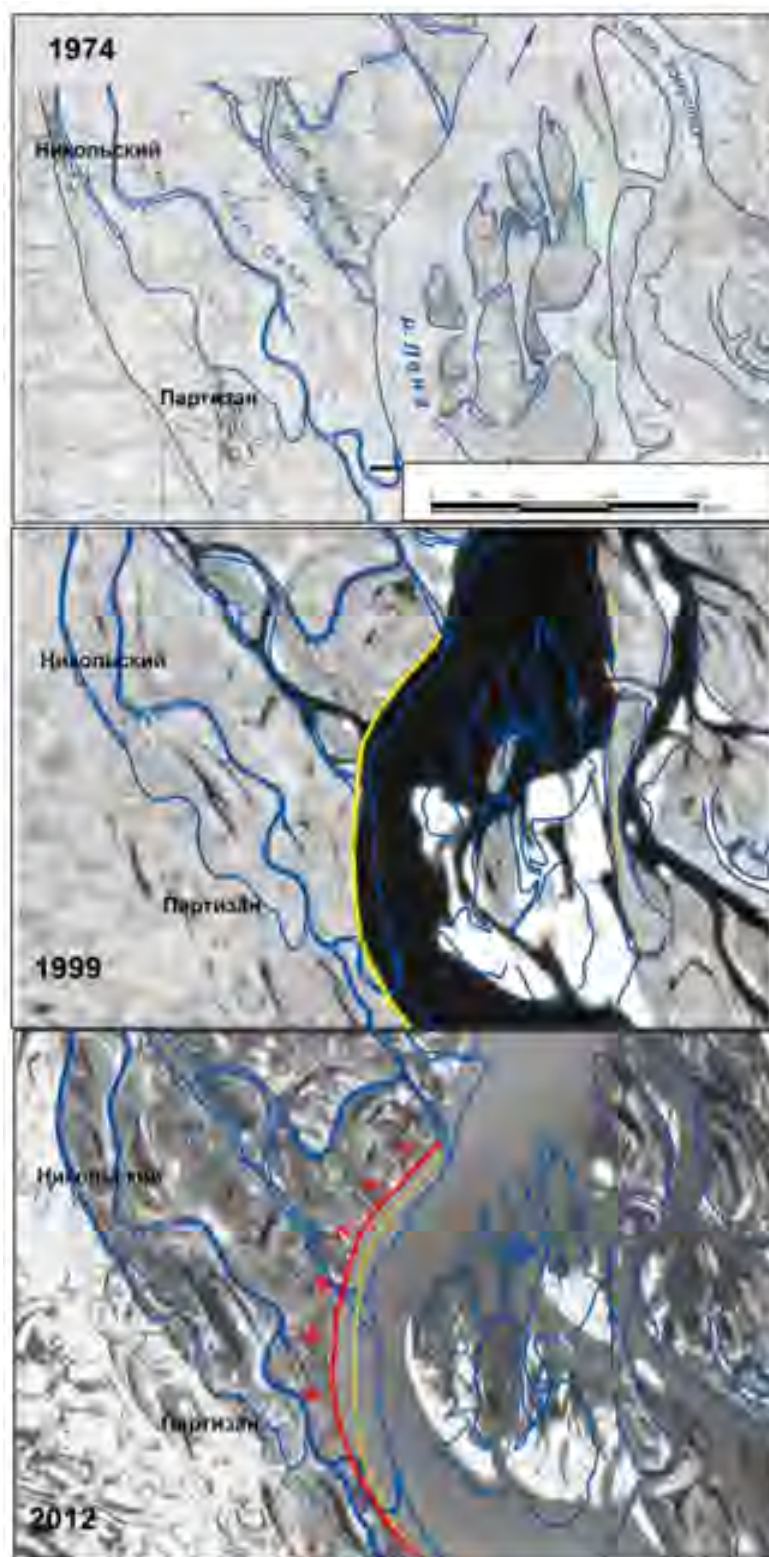


Рисунок 5.4 – Размыв левого вогнутого берега в районе пос. Партизан [Архивные материалы НИЛ Эрозии почв и русловых процессов, 2019].

Развитие побочной Намских перекатов периодически приводит к тому, что кривизна динамической оси потока на участке оказывается близка к предельной, и в корневых частях побочной развиваются спрямляющие побочные протоки. Это зачастую приводит к изменению положения судового основного русла.

Развитие побочной Намских перекатов периодически приводит к тому, что кривизна динамической оси потока на участке оказывается близка к предельной, и в корневых частях побочной развиваются спрямляющие побочные протоки. Это приводит к изменению положения стрежня потока (его спрямлению) основного русла и следующего вдоль него судового хода. Выше по течению до «Песчаной горы» произошла трансформация прямолинейного русла с двусторонними прибрежными разветвлениями и шахматным чередованием побочной в параллельно-рукавное русло.

Хайтыалаахска-Атаринский участок. Река здесь отличается большой разветвлённостью, способствующей систематическому развитию ледовых заторов, которые дополнительно осложняют морфологическую структуру русла. В начале участка главное течение реки тяготеет к правому борту долины, представленному высокой пойменной террасой – Песчаной горой, являющейся мощным источником поступления наносов (здесь – односторонние разветвления). После «отрыва» водного потока от ведущего берега формируется сложная система рукавов. Такое рассредоточение стока снижает общую транспортирующую способность потока, способствуя интенсивной аккумуляции наносов в пределах локального участка русла в условиях перенасыщенности им водного потока. В результате формируется сложный перекатный участок в пределах столь же сложных разветвлений протяженностью около 25 км и суммарной шириной более 8 км (рис. 5.5).

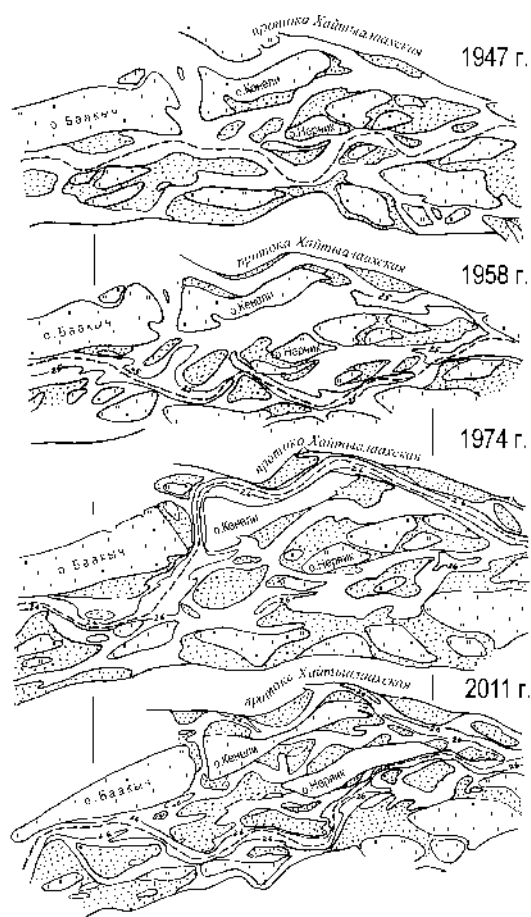


Рисунок 5.5 – Переформирования русла Хайтыалахской – Ат-Атаринского разветвления [Архивные материалы НИЛ Эрозии почв и русловых процессов, 2012].

Хайтыалахская протока как основной рукав – следствие грандиозного затора в начале 1960-х годов, перегородившего все русло. Но сейчас она – снова маловодная протока, сток из которой переместился в бывший центральный и правый рукава.

На Усть-Алданском участке, протяженностью около 50 км, русло Лены представляет собой сложную систему разветвлений, образованную двумя звеньями: Омулаганским и Усть-Алданским. В верхнем Омулаганском (рис. 5.6) узле за последние 40-50 лет произошло развитие левого рукава, что привело в результате к изменению положения динамической оси потока. Увеличились в размерах острова Жердь и Омутьган. Возросла доля отмелей в правобережной части русла. в результате этот узел составил вместе с Хайтыалахски- Ат-аринским параллельно-рукавные разветвления.

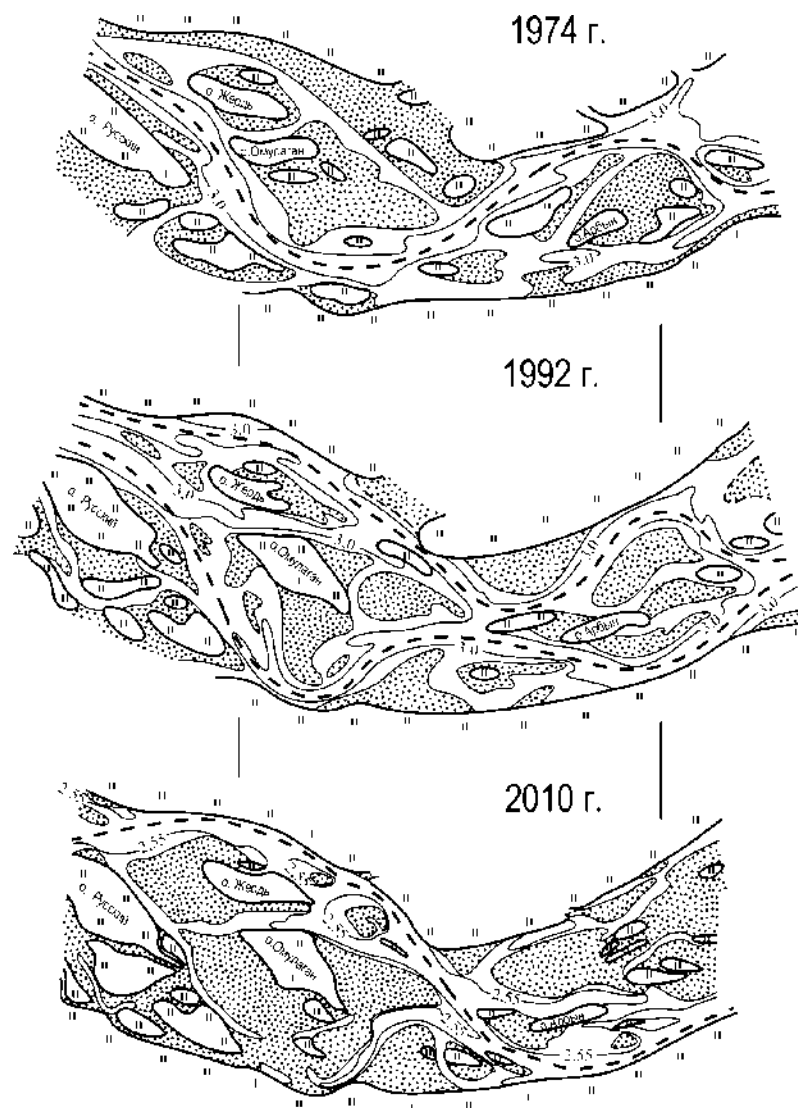


Рисунок 5.6 – Изменение морфологии русла и положения динамической оси потока реки Лены на участке Омугаланского разветвления [Архивные материалы НИЛ Эрозии почв и русловых процессов, 2012]..

Усть-Алданское разветвление имеет особое положение в пределах приалданского участка, так как его образование связано с процессами в узле слияния Алдана и Лены. Существенная доля Ленского расхода концентрируется в правом рукаве - Арбынской протоке, непосредственно соединяющейся с Алданом, или в левом рукаве – протоке Турий Взвоз (рис. 5.7). Оба рукава разделяет архипелаг островов, по протокам между которыми большая доля расхода воды из Арбынской протоки перетекает в протоку Турий Взвоз, и лишь впадение р. Алдана делает ее опять многоводной. Смещение основного течения реки из одного рукава в другой происходит примерно каждые 15-25 лет, это сопровождается соответствующими процессами эрозии и аккумуляции в правобережных и левобережных рукавах узла [Чалов, Кирик и др., 2014].

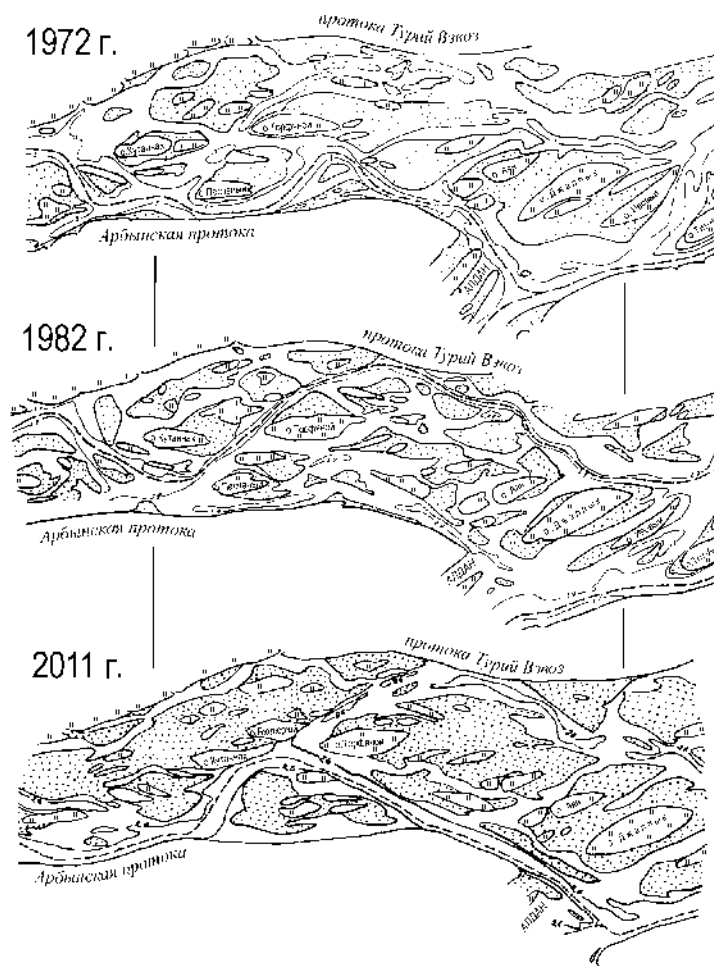


Рисунок 5.7 – Изменение положения судового хода в Усть-Алданском узле разветвления [Архивные материалы НИЛ Эрозии почв и русловых процессов, 2013].

Попеременное развитие рукавов в Усть-Алданском разбое (разветвление дельтового типа) обусловлено подпорными или бесподпорными условиями прохождения половодий на Лене, которые вызваны слиянием с Алданом. Бесподпорные условия соответствуют многоводным периодам и способствуют развитию правого рукава, формирующего короткое слияние – около Лено-Алданской стрелки; во время маловодных периодов р. Лена находится в подпоре от р. Алдана. В результате ее поток, минуя сформировавшуюся водную преграду, направляется в левый рукав – протоку Турый Взвоз, вызывая ее активизацию и углубление [Чалов, Кирик и др., 2014].

Участок от р. Алдана до р. Вилюя.

На данном участке русло располагается вдоль правого горного берега, сформированного склонами Омулаганского хребта или его отрогами.

На участках, где главное течение располагается вдоль правого коренного берега, русло является плесовым. Лишь отдельные каменистые высыпки (конуса выноса горных водотоков) отклоняют стрежневую зону потока к центральной части русла.

Наиболее интенсивные переформирования в пределах рассматриваемого участка характерны для Белогорского узла. Он формирует участок реки протяженностью примерно 20 км, находящийся на перевале основного русла к правому коренному берегу (Белой горе), представляющей из себя отроги горных массивов Верхоянья. Здесь располагается некоторое количество крупных гряд, отделенных друг от друга короткими плесовыми лощинами, положение которых имеет высокую динамику, а также отдельными островами или группами островов, между которыми «извивается» поток на перевале.

Белогорские перекаты (рис. 5.8) сформировались в ухвостьях островов Язевый (Тенгелилях), Хачай-Ойулах (Лесистый), Еловый, Ыстыннах, Сур, которые замыкают длинное 60-ти километровое разветвление, образовавшееся ниже мыса правого коренного берега, отклонившего поток к левобережной пойме. Ниже по течению находится левобережный островной массив, образующий одностороннее разветвления. Оно начинается с группы малых островов, верхний из которых – о. Чаечий. Эти острова вытянуты в центральной части русла. Между ухвостьями островов, формирующих сложное разветвление выше по течению и оголовками островов одностороннего разветвления ниже по течению располагается большая акватория протяженностью более 7 км. На перевале русло расширяется к о. Чаечьему в полтора раза (с 2,5 км до 3,3 км), а в сравнении с левым рукавом выше по течению – примерно в пять раз. Данная широкая акватория заполняется многочисленными отмелями. Это местное увеличение ширины русла приводит к снижению транспортирующей способности потока и отложению наносов. При уровнях около 3 м над проектным сток взвешенных наносов (по натурным измерениям) уменьшается по длине Белогорских перекатов с 2700 кг/с до 1100 кг/с, т.е. почти в 2,5 раза, отражая местную аккумуляцию здесь наносов, в т.ч. руслообразующих, формирующих Белогорский перекаточный участок. Фарватер здесь очень неустойчив, не имея опорных берегов, постоянно меняет свое положение среди осередков и отличается регулярным обмелением [Чалов, Кирик и др., 2014].



Рисунок 5.8 –Космоснимок, показывающий расположения Белогорского переката

В режиме переформирований Белогорских перекатов прослеживается определенная закономерность: периодическое выдвижение и последующее отторжение кос в ухвостьях островов, причем в годы, когда поток на перевале прижимается к ухвостьям островов, его стрежень и судовой ход, если он следует ему, выпрямляется, происходит углубление фарватера, судоходные условия временно улучшаются. Смещение потока к приверхам нижележащих островов сопровождается образованием осередков при частичном отторжении кос в ухвостьях островов, развитием извилистости стрежня (и судового хода) с формированием 4-5 его извилин на перегибах потока и при ответвлении протоков возле островов и нескольких мелководных перемычек, на которых проводится дноуглубительные работы.

За 100 лет, обеспеченных съемками русла (1920-2020 гг.), на Белогорских перекатах можно выделить несколько этапов перемещения потока из верхнего положения (ближе или вдоль ухвостей островов) в нижнее, к приверху островов одностороннего разветвления (рис. 5.9 и 5.10) [Чалов, Кирик и др., 2014].

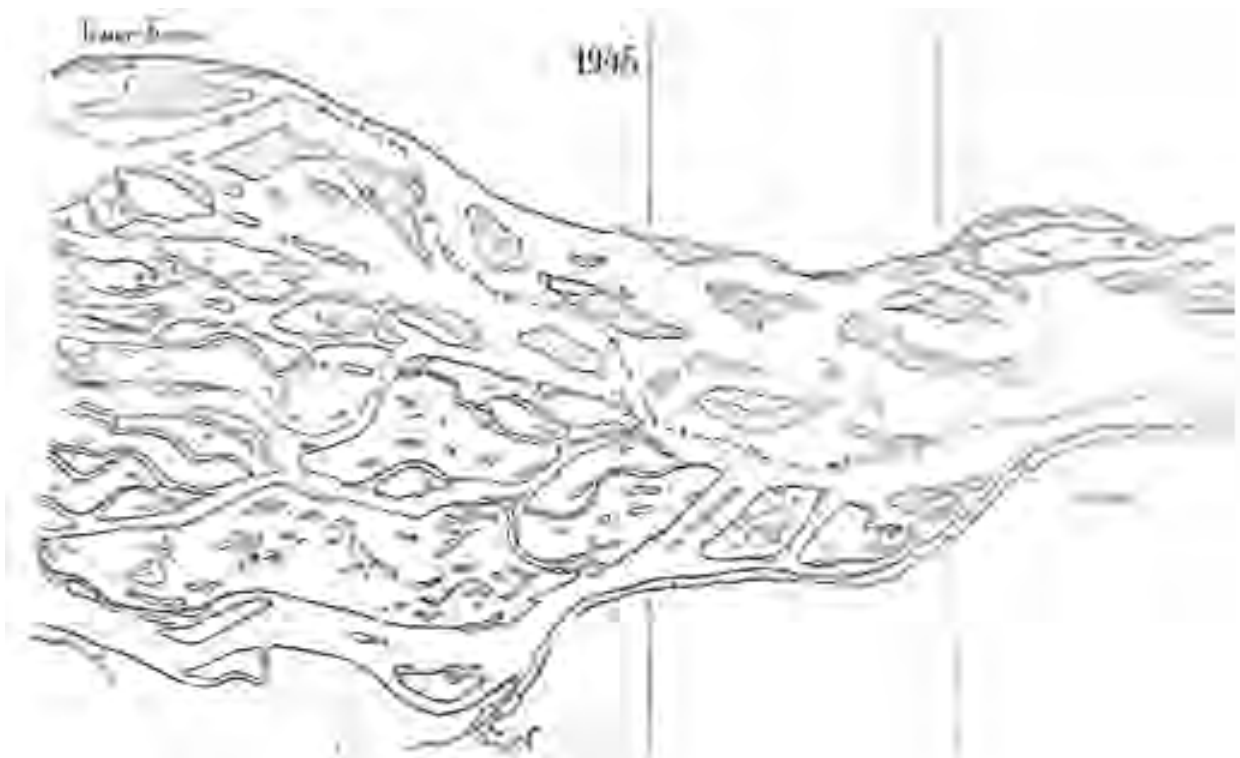


Рисунок 5.9 - Съемка русла 1946 г.



Рисунок 5.10 – Съемка русла 2012 г.

Для Белогорского переката отмечается очень высокая интенсивность перемещения осередков до 100 м/год и более (рис. 5.11).

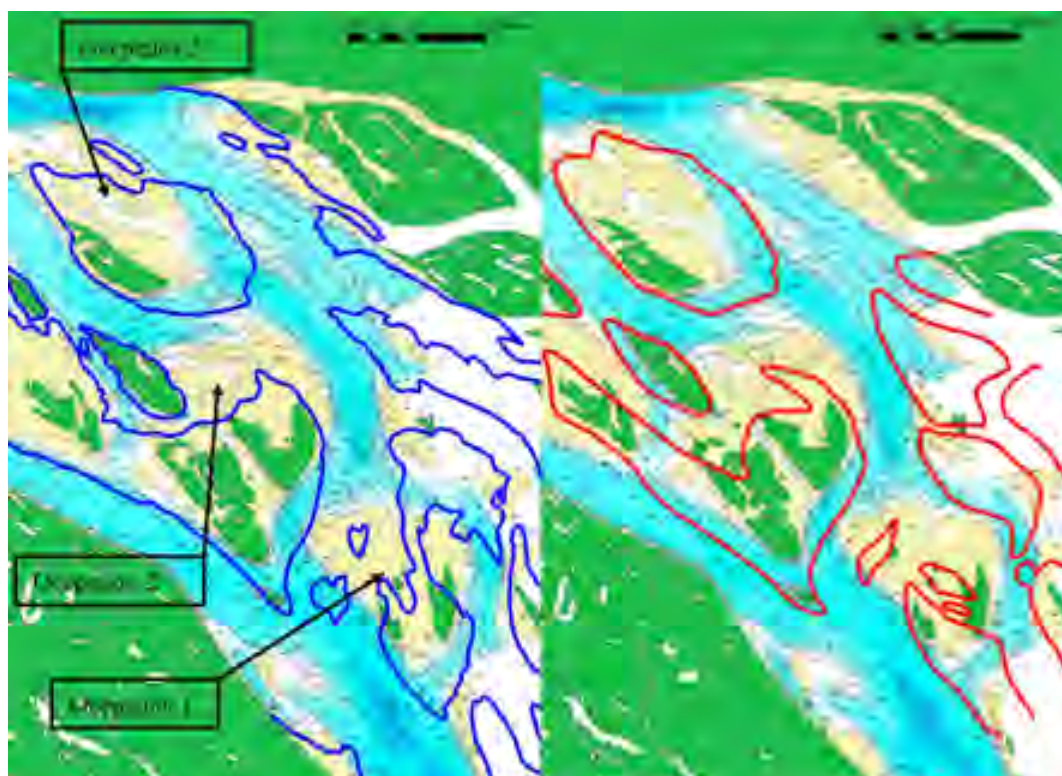


Рисунок 5.11 – Положение осередков и островов в 2012 (синий цвет) и 2015 (красный цвет) гг. В качестве подложки использована съемка русла 2020 г.

Участок от р. Вилюя до с. Жиганска.

Ниже устья Вилюя, Лена отходит от отрогов Орулаганского хребта и вновь проходит по Центрально-Якутской низменности. Здесь из-за свободных условий развития русловых деформаций, низкой его устойчивости и большой водности формируется очень широкое русло, достигающее 28 км в наиболее широком месте. Все русло на данном участке является параллельно-рукавным с отдельными узлами разветвлений.

В верхней части участка находится Монастырский узел разветвления (рис. 5.12). На протяжении всего узла правый более глубокий. Левый рукав развивается в пойменных берегах, что определяет аккумуляцию в нем наносов, в результате в левом рукаве развиты перекатные участки. На что во многом влияет вынос наносов из Вилюя.

Русловые переформирования на Монастырском узле заключаются в изменении положения кос и осередков, их смещении вниз по течению с последующим отторжением.

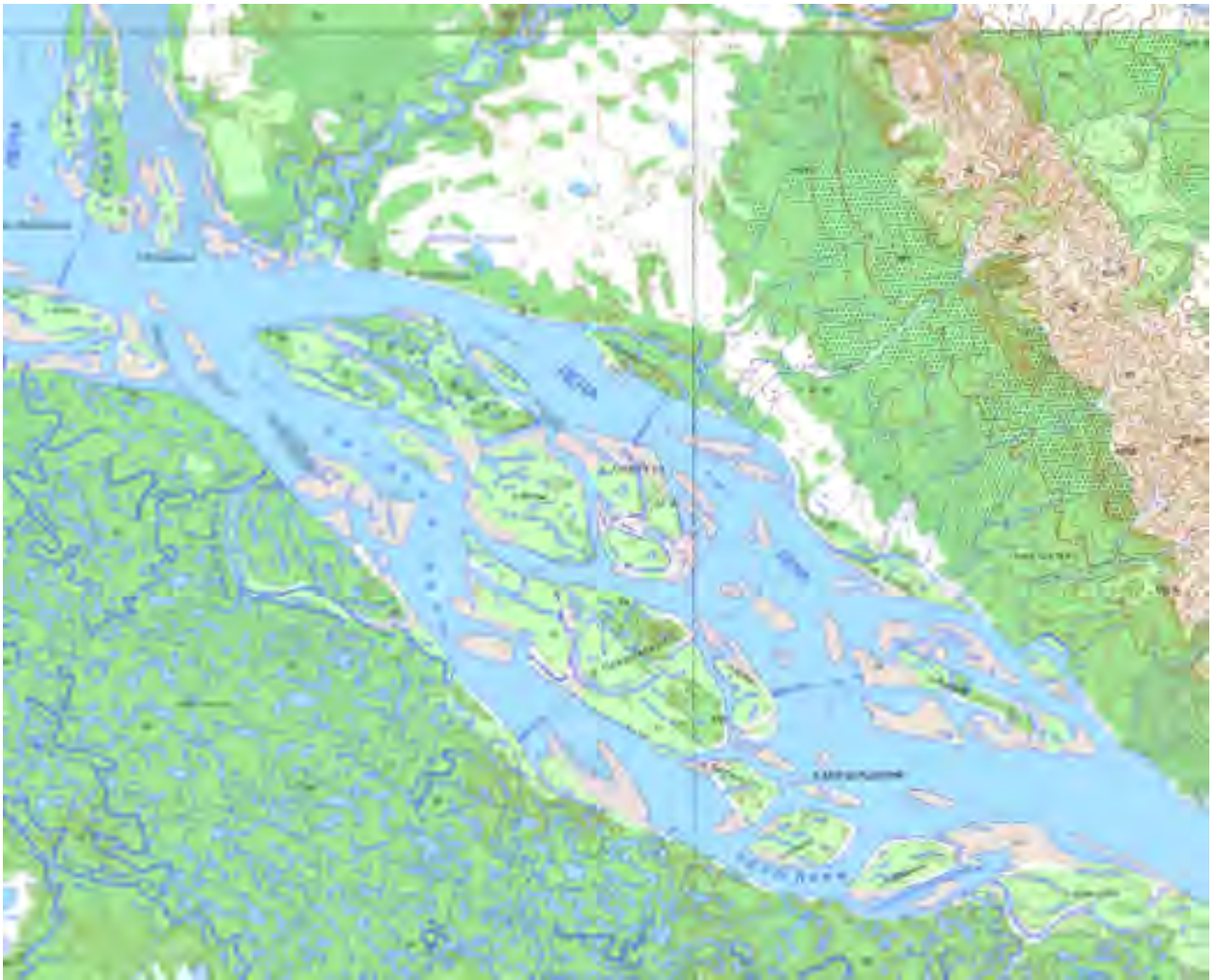


Рисунок 5.12 – Монастырский узел разветвления

Ниже по течению располагается Черпальский узел параллельно-рукавных разветвлений. Он характеризуется сложноразветвленным руслом, обилием малых и крупных островов, а также островных массивов, разделенных большим количеством протоков и рукавов. Основное русло располагается в системе правого рукава, иногда непосредственно в крайнем правом рукаве вдоль уреза правого берега. На отдельных участках он отклоняется ближе к середине русла. Такое относительно стабильное его положение является следствием воздействия правого коренного берега, который является ведущим. В тех местах, где ведущий берег прерывается прибрежными островами и их группами, происходит замедление скоростей течения, уменьшение глубин. Поток отклоняется и от него переходит в центральную часть рукава или всего русла в целом (рис 5.14).

Ниже Черпальского узла находится Сахамский узел. Суммарная ширина (с островами) русла на всем протяжении участка достаточно велика и составляет в среднем 13-16 км. Русловые деформации протекают на фоне существования сопоставимых по водности рукавов параллельно-рукавного русла. Левый рукав во время половодья в себе

большую долю расхода, однако он имеет большую ширину, что определяет его мелководность. Из-за этого судовой ход и участки наибольших глубин приурочены к правобережной ветви течения (рис. 5.13).

Параллельно-рукавная система сохраняется практически до с. Жиганска. Русловые деформации проявляются в смещении форм руслового рельефа – побочней и осередков, вызывающих периодическое перераспределение стока между основными рукавами. Количество островов за последние 40 лет возросло за счет зарастания в них осередков. Наиболее стабильным в плане русловых переформирований является нижний участок у с. Жиганска, где русло собирается в единый поток, что обусловлено уменьшением ширины поймы. Разветвлённость при этом сохраняется вдоль левого берега.

Река Обь.

Слияние Бии и Катунь – устье р.Чарыша. В начале участка находится «дельта выдвигания» Катунь в общую акваторию сливающихся рек, образующих Обь; в устье Бии сформировалось разветвление по типу «дельты выполнения». За период наблюдений здесь произошли значительные изменения. В конце XIX века дельтовое разветвление формировала только Катунь, в устье Бии дельта отсутствовала. Вогнутый берег излучины Бии постепенно размывался, вследствие чего возникло приустьевое расширение русла, в котором аккумуляровались наносы, что привело к образованию Березовских островов, составивших дельту Бии. Поток Катунь, соединяясь с Бией, растекается по широкому руслу Оби и формирует дельту выполнения в виде группы островов, вытянутых вниз по течению и расположенных на продолжении Бийско-Катуньской стрелки [Русловые процессы..., 2001].

Участок реки ниже дельты в узле слияния Бии и Катунь характеризуется наиболее сложным и неустойчивым руслом. Формирование здесь параллельно-рукавного русла в современном виде началось в 40-е годы XX века. До этого – в конце XIX – начале XX вв. – происходило отмирание правых рукавов и сосредоточение стока в левом рукаве, характеризующимся неустойчивым широким распластным руслом. Двухстрежневой характер рассредоточения стока воды обусловлен низкой устойчивостью русла, большой его шириной и расположением непосредственно ниже слияния двух рек [Кумсиашвили, Чалов, 1990]. В конце 80-х годов разработка капитальной прорези в Фоминской протоке привело к стабилизации положения основного русла. При этом произошло укрупнение островов и превращению осередков в острова в центральной протоке (рис. 5.13 и 5.14).



Рисунок 5.13. Конфигурация Фоминского узла в 1984 г.



Рисунок 5.14. Конфигурация Фоминского узла в 2016 г.

Ниже Фоминского разветвления берегу была сооружена направляющая дамба, благодаря которой сток сконцентрировался в левом рукаве, что привело к разрыву параллельно-рукавого разветвления, превращению Фоминского узла в сложное одиночное разветвление.

В нижней части участка начиная с конца 80-х годов началась произошла трансформация чередующихся односторонних разветвлений в параллельно-рукавное разветвление. К настоящему моменту это перестройка завершилось.

В нижней части участка основной сток сконцентрирован в едином русле. Русловые переформирования имеют меньшую интенсивность. Наблюдаются лишь локальные

размывы или формирования мелких островов и смещения некоторых побочней вниз по течению.

Переформирования в дельтовом разветвлении в устье Чарыша (рис. 5) определяются деформациями обеих рек, несовпадением во времени половодий и поворотом Оби под углом в 90 градусов при подходе реки к 100-метровому уступу Степному плато. Данные переформирования характеризуются периодическими отторжениями обским потоком большей части обско-чарышской стрелки и последующим ее восстановлением (рис. 5.15).

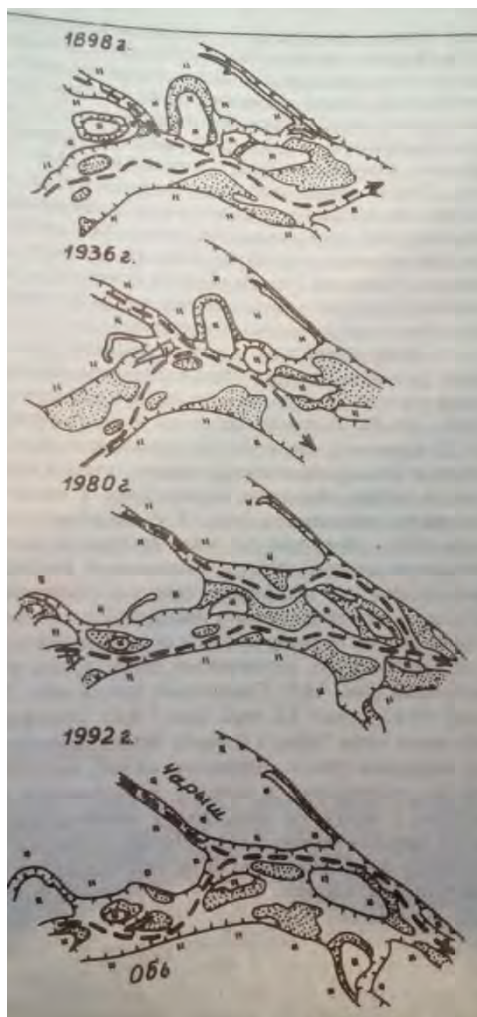


Рисунок 5.15. Характерные состояния русла и положения судового хода в узле слияния Оби и Чарыша [Русловые процессы..., 2001]

Устье р. Чарыша – устье р. Аля. Для данного участка характерна ведущая роль левого коренного берега. В русле формируются крупные односторонние и одиночные разветвления с прямолинейными вставками между ними. Русловые переформирования заключаются в консолидации групп островов и их удлинении. Так остров Шипуновский за 20 лет удлинился на 3 км. Вместе с тем ввиду сокращения дноуглубительных работ в последние 30 лет наблюдается нарушение правила ведущего берега и смещение

динамической оси потока в правобережную пойменную часть русла (например в районе Даниловского переката

Устье р. Алея – г. Барнаул. Ниже устья р. Алея река отходит от коренного левого берега. В результате чего наблюдаются первые на Оби излучины, и впервые формируется пойменно-русловое разветвление на перевале реки от правого коренного берега к левому борту долины. Переформирования русла связаны с развитием излучин, их активным смещением в продольном и поперечном направлениях, спрямлением некоторых наиболее крутых. Спрямления происходят за счет развития спрямляющих протоков через шпоры излучин, а не посредством встречного размыва берегов на их крыльях при их трансформации в петлеобразные. Обычно образование спрямляющих протоков происходит в годы с экстремально высокими половодьями.

Барнаул – Камень-на-Оби. Верхняя и центральная часть участка (за исключением 25 км участка в районе устья р. Чумыша) река протекает вдоль левого коренного берега, где преобладают одиночные и односторонние разветвления. Здесь русловые переформирования заключаются в консолидации групп островов и их удлинение. Отклонение динамической оси потока от левого берега связано с его выступами, что способствует формированию островов и размывам правого берега. Прямолинейные участки значительных переформирований не претерпевают. Однако, для данного участка, как и для вышерасположенного, характерно влияние оползней.



Рисунок 5.16 - Крутая вписанная
Тарадановская излучина (I/L-2,12)

Ниже по течению (около с. Шелаболихи) река отходит от коренного берега, река меандрирует, причем нередко формируются достигающие высоких значений степени развитости и крутизны (рис. 5.16). За 20 век образовалось несколько прорванных излучин путем развития спрямляющих протоков.

В нижней части участка проявляется воздействие переменного подпора от Новосибирского водохранилища, что вызывает направленную аккумуляцию наносов в русле.

Новосибирский гидроузел – устье р. Томи. После сооружения Новосибирской ГЭС русло реки из-за радикального сокращения стока наносов активно врезается. Непосредственно на приплотинном участке наблюдается расширение русла и его углубление (давно прекратилось из-за выхода коренных грунтов) [Русловые процессы...,2001].

Существовавшее в прошлом циклическое перераспределение стока между звеньев сопряженных разветвлений в настоящее время прекратилось, чему способствовало регулирование стока Новосибирским гидроузлом, дноуглубительные работы по трассе судового хода и разработка русловых карьеров. В результате этого произошло массовое закрепление растительностью прирусловых отмелей и концентрация стока в одном из звеньев сопряженных разветвлений, которые трансформировались в пологие излучины русла.

Количество излучин незначительно, темпы их развития не отличаются высокими значениями.

Устье р. Томи – устье р. Ваха. Русло средней оби в пределах данного участка относительно устойчиво [Чалов, 2007]. Основной формой русловых переформирований является процесс меандрирования, проявляющийся в формировании излучин и направленном изменении их параметров: продольным и/или поперечном смещении за счет размыва вогнутых берегов и направленной аккумуляции на выпуклых берегах. Отдельные излучины, после достижения ими критических значений степени развитости (более 1,6), спрямляются за счет образования в понижениях рельефа пойменных шпор спрямляющих протоков, так происходит формирование прорванных излучин. Это иногда вызывает спрямление на нижерасположенных излучинах, приводя тем самым к перестройке русла (рис. 5.17).



Рисунок 5.17 – Последовательное спрямление двух излучин (спрямляющие протоки выделены синим)

Формирование и развитие излучин играет важную роль в переформированиях рукавов пойменно-русловых разветвлений. Развитие излучин приводит к удлинению рукава, в результате чего уменьшается его пропускная способность за счет увеличения значений модулей сопротивления и происходит перераспределение стока между рукавами.

Для русла средней Оби характерно наличие локальных расширений, в которых снижена транспортирующая способность потока из-за его распластывания. В результате между динамическими осами формируются осередки, которые после закрепления растительностью трансформируются в острова. Динамика размеров островов, их объединение, отмирание межостровных протоков, причленение островных массив к пойме оказывает существенное влияние на развитие рукавов. Кроме того, важно влияние берегов, которые оказывают струенаправляющее воздействие. Это приводит в отдельных случаях к трансформациям типов русел, например, из одиночных разветвлений в односторонние.

Устье р. Ваха – устье р. Иртыша. Данный участок реки имеет относительно устойчивое русло с невысокой интенсивностью русловых переформирований ($L=6,9$ [Чалов, Камышев, Завадский, 2021]). За 50-летний период произошло спрямление двух крутых излучин на встречающихся лишь на данном участке сложных трехрукавных

пойменно-русловых разветвлений (рис. 5.18) свойственно развитие центрального рукава (по схеме формирования прорванных излучин); левые и правые рукава при этом являются второстепенными и, в долгосрочной перспективе, имеют тенденцию к отмиранию.

Устье р. Иртыша – узел разделения Малой и Горной Оби. Весь участок ниже устья р. Иртыша и до узла формирования раздвоенного русла морфологически однороден. Он представляет собой чередование одиночных разветвлений с прямолинейными участками. Формирование значительной доли одиночных разветвлений произошло в последние 50-70 лет вследствие зарастания осередков. То-есть наблюдается трансформация более низкого иерархического уровня разветвленности (осередкового) в островной. К настоящему моменту на участке сохраняется только два осередковых разветвления, одно из которых составляет среднее звено параллельно-рукавных разветвлений протяженностью около 20 км. Наличие коренного правого берега определяет низкую интенсивность русловых переформирований и увеличивает стабильность русла. Выступы коренного берега обуславливают отклонение потока к левому пойменному берегу, в результате чего за выступами формируются обширные побочни и острова, однако деградации или отмирания правобережных протоков не наблюдается. Под влиянием выступов также некоторые односторонние разветвления (Елизаровское) стали одиночными благодаря увеличению водности и превращению в рукав бывшей прибрежной протоки.

Для одиночных разветвлений русловые переформирования преимущественно заключаются в регрессивном смещении островов и периодическом перераспределении стока между правым и левым рукавами.

Для прямолинейных участков свойственна низкая интенсивность русловых переформирований, стрежневая зона проходит вдоль правого коренного берега, вдоль левого берега располагаются отмельные участки [Чалов, Камышев и др., 2021].

Раздвоенное русло нижней Оби. Для данного участка русла характерны значения числа Лохтина в пределах от 5 до 6 [Чалов, Завадский, Камышев и др., 2021]. Левый рукав раздвоенного русла – Малая Обь отличается сложными русловыми переформирований, которые проходят на фоне перманентного перераспределения стока между рукавами ее вторичных разветвлений и пойменных протоков, которые увеличивают или, напротив, сокращают ее водность. Основным процессом, определяющим трансформации русла, является меандрирование, то есть наблюдается развитие излучин и изменение их параметров с течением времени и по длине Малой Оби в связи большой динамикой ее водности. На крутых излучинах наблюдается нарушение правила безотрывного обтекания вогнутого берега и смещение динамической оси потока к выпуклому берегу. Количество пойменно-русловых разветвлений на Малой Оби незначительно (их всего три), они

образуются при размыве вогнутых берегов излучин и формировании проранов между пойменными протоками и главным руслом. Увеличение водности пойменных проток за счет отвлечения части стока через сформировавшийся проран приводит к перестройке русла и формированию пойменно-русловых разветвлений [Чалов, Камышев и др., 2022].

Для одиночных и односторонних разветвлений свойственны размывы оголовков островов. В рукавах одиночных разветвлений образуются изгибы русла, вогнутые берега которых активно размываются.

Горная Обь протекает вдоль правого коренного берега, что снижает темпы русловых переформирований. Верхняя часть Горной Оби представлена преимущественно одиночными разветвлениями, которые образовались на участках локального расширения русла ниже выступов коренного берега. Переформирования в этих разветвлениях сконцентрированы в левых пойменных рукавах. Там, где Горная Обь отходит от правого коренного берега, интенсивность переформирований возрастает. На этом отрезке находятся немногочисленные излучины, для которых свойственно продольное и поперечное смещение. Одна из излучин (Чуэльская) в недалеком прошлом спрямилась за счет образования и активного развития спрямляющей протоки. Две другие прорванные излучины характеризуются сохранением большей части стока в основном русле, а не в спрямляющих протоках, что связано с направляющим воздействием выступов коренного берега.

Большая Обь, образуемая после слияния протоки Большой Нюрик и Горной Оби, протекает вдоль правого коренного берега. Это определяет в целом невысокие темпы русловых переформирований. Интенсивные переформирования наблюдаются лишь в начале и конце Большой Оби, это связано с наличием правобережной поймы и формированием излучин.

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

Спряжения излучин и размывы вогнутых берегов наблюдаются только на Оби. И зачастую являются 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 их размыва.

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 приводит к кардинальным перестроениям русла.

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

Заключение

1. Выявлено, что реки Лена и Обь кардинальным образом 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 динамике морфодинамических типов русла по длине реки. Извилистое русло не встречается. 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; на средней и нижней Оби – короткие участки в порядке исключения.

3. На средней и нижней Оби имеет место большое количество пойменных протоков, количество которых возрастает вниз по течению. На верхней Оби пойменные протоки формируются только при наличии способствующих этому местных условий. Наличие большого количества пойменных протоков на средней и нижней Оби связано с появлением верхнего интервала руслоформирующих расходов, который проходит при затопленной пойме. На Лене протяженные пойменные протоки выражены в гораздо меньшей степени. Это обусловлено общей тенденцией реки к врезанию и меньшей шириной поймы. Имеющиеся протоки связаны с заторными явлениями, которые приводят к отклонению потока на пойму и разработке на ней маловодных рукавов.

4. Для Оби установлено отсутствие четко выраженной корреляции между параметрами шагами и радиусами кривизны, что связано с увеличением рассредоточения потока по пойме и 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, что связано с уменьшением уклонов. Уменьшение величины сложности разветвлений в среднем и нижнем течении связано с увеличением устойчивости. Для рукавов раздвоенного русла тренда в изменении сложности разветвлений по длине рукавов не прослеживается. Для р. Лены свойственен квазиравномерный рост сложности разветвлений, что в первую очередь обусловлено снижением устойчивости. Показано, что сложность параллельно-рукавного русла Лены и Оби в верхнем течении сопоставимы при введении поправочных коэффициентов на водность.

6. 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 ρ/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 позволяют 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.

Литература

1. Knighton D. Fluvial Forms and Processes. 2014. 400 p.
2. Leopold L.B., Maddock Jnr T. The Hydraulic Geomtry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. 1953. 57 p.
3. Leopold L.B., Wolman M.G. River cannal patterns – braided, meandering and straight // US Geol. Surv. Prof. Pap. 282-B. 1957. P. 1-85.
4. Merritt M., Wohl E.E. Downstream hydraulic geometry and channel adjustment during a flood along an ephemeral, arid-region drainage // Geomorphology. 2003. 165-180 pp.
5. Rosgen, David L. 1994. “A Classification of Natural Rivers.” CATENA 22 (3): 169–99
6. Sedimentation research in China. Beijing: China water and power press, 1993. 250 p.
7. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=505>
8. Алексеев М.Н. Стратиграфия континентальных неогеновых и четвертичных отложений Вилюйской впадины и долины нижнего течения реки Лены. «Труды Геологич. Ин-та АН СССР». Вып. 51. 1961. С.36-51.
9. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: МГУ. 1998. – 202 с.
10. Алексеевский Н.И., Чалов С.Р. Гидрологические функции разветвлённого русла. – М.: Географ. ф-т МГУ, 2009. – 240 с.
11. Алтунин С.Т. Регулирование русел. М.: Сельхозиздат, 1962. 352 с.
12. Алтутин В.С. Деформации русел каналов. М.: Колос, 1972. 120 с.
13. Андросов И.М., Завадский А.С. Опасные русловые процессы на освоенных территориях пойменного комплекса реки Лены. В сборнике: Двадцать девятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. доклады и краткие сообщения. Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ. 2014. С. 44-45.
14. Антроповский В.И. Связь типов руслового процесса с определяющими факторами // Труды ГГИ. Вып. 183. 1970. С. 70-80.
15. Архипов С.А., Вдовин В.В., Мизеров Б.В., Николаев В.А. Замадно-Сибирская равнина. Изд. «Наука». М. 1970. С. 281.
16. Байром С.Г., Вострякова Н.В., Широков В.М. Изменение природных условий на средней Оби после создания Новосибирской ГЭС. – Новосибирск: наука , 1973.

17. Барышников Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. СПб.: РГГМУ. 2012.
18. Барышников Н.Б. Русловые процессы. СПб.: РГГМУ, 2008. 439 с.
19. Беркович К.М. Влияние мерзлых грунтов на русловые деформации реки Лены. В кн. «Первая Всесоюзн. Межвуз. Конф. По проблеме «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях». Изд-во Моск. Ун-та. 1972.
20. Беркович К.М. и др. Русловой режим и регулирование русла средней и нижней Лены // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 8. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. С 125-156.
21. Беркович К.М., Векслер А.Б., Виноградова Н.Н., Доненберг В.М., Лысенко В.В., Маккавеев Н.И., Рулева С.Н., Чалов Р.С. Формирование русла Оби в Нижнем бьефе Новосибирской ГЭС // Труды ЗапСибНИИ Госкомеиздата. Вып. 52. 1981.
22. Беркович К.М., Виноградова Н.Н. Влияние крупных водохранилищ на гидрологический и русловой режим зоны переменного подпора // Водные ресурсы. – 1975. №6.
23. Беркович К.М., Власов Б.Н. Особенности русловых процессов на реках Нечерноземной зоны РСФСР // Вест. Моск. ун-та Сер. 5. География. 1982. № 3. С. 28-34.
24. Беркович К.М., Гаррисон Л.М., Рулева С.Н., Чалов Р.С., Морфология русла и русловые деформации верхней и средней Оби // Земельные и водные ресурсы. Противоэрозионная защита и регулирование русел. – М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 95-120.
25. Большая Российская энциклопедия. В 35 томах. Том 23. 767 с. 2014.
26. Борсук О.А., Чалов Р.С. О врезании русла р. Лены // Изв. ВГО. 1973. Т. 105, вып. 5. С. 452-456.
27. Бузин В.А., Затопы льда и затопные наводнения на реках, Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2004. - 202 с.
28. Буренина Т. А., Земцов А. А. Деформации берегов р. Оби в пределах Томской области // Вопросы географии Сибири. 1978. Вып. 11. С. 111-120.
29. Великанов М.А. Русловой процесс. М.: Госфизматиздат. 1958. 395 с.
30. Виноградова Н.Н., Рулева С.Н. Влияние изменений гидрологического режима и хозяйственной деятельности на состояние русла р.Оби в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 1982. №1. С. 38-44.
31. Владимирова А.А., компьютерное моделирование русловых процессов реки лены на участке водозабора и водоочистных сооружений города Якутска. Молодой ученый. 2020. № 21 (311). С. 482-484.

32. Вода России: научно-популярная энциклопедия [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://voda.org.ru/about-water/enciklopediya-voda-rossii/vodnaya-enciklopediya-2020>
33. Водные пути бассейна Лены. Под общей редакцией Р.С. Чалова, В.М. Панченко, С.Я. Зернова., М., МИКИС, 1995. 600 с.
34. Водные пути бассейна р. Лены. Иркутск: Иркут. обл. изд-во, 1938. - XII, 592 с.
35. Воскресенский С.С. Геоморфология Сибири. Издательство Московского университета. 1962. С. 352.
36. Вострякова Н.В., Подлипский Ю.И., Широков В.М. Изменение твердого стока сибирских рек в связи с возникновением крупных водохранилищ // Круговорот вещества и энергии в озерах и водохранилищах. Вып. 1. – Иркутск. 1973.
37. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.
38. Гидрологическая изученность. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. М.: Московское отделение гидрометеорологического издательства, 1966. — 217 с.
39. Гидрологическая изученность. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1967. — 434 с.
40. Гидрологическая изученность. Том 15. Средняя Обь. Выпуск 2.
41. Глушков В. Г. Морфология речного русла // Трубы 1-го Всерос. Гидрол. Съезда. Л., 1925. С. 286-290
42. 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-разветвленного русла нижней Лены. В сборнике: Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Под редакцией проф. Г.Л. Гладкова, К.П. Моргунова. Санкт-Петербург, 2021. С. 79-96.
43. Голубцов Г.Б., Чалов Р.С. Сравнительный гидролого-морфологический анализ островов сложноразветвленных русел верхней Оби и средней Лены. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле, 30(2):164–174, 2020.
44. Гринберг З.А. О морфометрических характеристиках рек // Метеорология и гидрология. 1950. №4. С. 43-45.
45. Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 216 с.
46. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 144 с.

47. Ермакова А.С., Кирик О.М. Морфология и переформирования русла на Усть-Алданском участке р. Лены // Геоморфология. 2006. №2
48. Завадский А.С., Сурков В.В., Крыленко И.В., Головлев П.П., Рулева С.Н. Опасные русловые и гидрологические процессы и их учет при разработке региональных стратегий защиты приречных территорий // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. М.: Географ. ф-т МГУ имени М.В. Ломоносова. 2020. — С. 84–112.
49. Завадский А.С., Фингерт Е.А., Ботавин Д.В., Головлев П.П. Современные подходы к обоснованию генеральных схем коренного улучшения судоходных условий (на примере сложноразветвленного участка реки Лены) // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. 2019. — С. 148–160.
50. Завадский, А. С., Ильясов, А. К., Рулёва, С. Н., Сурков, В. В., Турыкин, Л. А., Чалов, Р. С. Эволюция Колпашевской излучины Оби и развитие опасных проявлений русловых процессов. География и природные ресурсы, 1 (2013), 56–64.
51. Зайков Б.Д. Очерки гидрологических исследований в России. Л. Гидрометеиздат. 1973. 325 с.
52. Зайченко П.А. Томский государственный университет им. В. В. Куйбышева: очерки по истории первого сибирского университета за. 75 лет (1880-1955). Томск: Изд-во ТГУ, 1960. 478 с.
53. Западная Сибирь. Под редакцией Рихтера Г.Д. Изд. Академии наук СССР. М. 1963. С. 488.
54. Земцов А.А., Хромых В.С. Проблемы географии Западной Сибири // Вопросы географии Сибири 1999. Вып. 23. С. 5-10.
55. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Крутовский А.О., Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы рек Сибири. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 182 с.
56. Камалова Е.В. Географические закономерности процессов разрушения берегов на малых и средних реках бассейнов Волги и среднего Дона. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1988. 22 с.
57. Камышев А. А. Особенности морфодинамики русла верхней и средней Оби и ее связь с критерием квазиоднородности потока // Тридцать третье Межвузовское пленарное совещание по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов (Доклады и краткие сообщения). — Нижневартковский государственный университет Нижневартовск, 2018. — С. 114–116.

58. 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.
59. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
60. Карасев И.Ф. Руслоформирующие расходы воды // Метеорология и гидрология. 1986. №8. С. 94-98.
61. Караушев А.В. Речная гидравлика. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 416 с.
62. Кондратьев Н.Е. Русловые деформации в меандрирующих руслах // Тр ГГИ. Вып. 44 (98). 1954. С. 5-13.
63. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисченко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
64. Кумсиашвили Г.П., Чалов Р.С. Формирование вертикальной границы раздела в потоке при слиянии рек и ее влияние на русловые процессы // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 5, География. 1990. №5. С. 9-16.
65. Куракова А.А., Размывы пойменных берегов Оби и Иртыша и их связь с морфологией русла. Географический вестник, (1(60)), 2022. С 40-59.
66. Лапешенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных узлов. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 240 с.
67. Лосиевский А. И. Лабораторные исследования процессов образования перекатов // труды ЦНИИВТ. 1934. Вып. 36. 98 с.
68. Лохтин В.М. О механизме речного русла. СПб., 1897 (вопросы гидротехники свободных рек. М.: Речиздат, 1948. С. 23-59).
69. Львович М.И. Опыт классификации рек России // Трубы ГГИ. Вып. 6. 1938 а. С 58-105.
70. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
71. Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М. Изд-во МГУ, 1971. 116 с.
72. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
73. Максимов А.А. Мерзлякова Е.П. Характеристика разливов в пойме Оби за 1968-1977 гг. // Сукцессии животного населения в биоценозах поймы р. Оби. – Новосибирск, 1981.
74. Максимов А.А. Опыт зональной характеристики поймы Оби по весенне-летним разливам // Трубы Томского ун-та. – Том 152. 1963.

75. Мальберт И.Э. К вопросу о русловых процессах рек Сибири // Тр. транспортно-энергетического ин-та. Вып. III. 1952. С. 32-41
76. Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. СПб.: Упр. водяных и шоссейных сообщ. и торг. портов (по отд. водяных и шоссейных сообщ.). Вып. 41. Общие сведения о р. Лене с притоками и о работах на них в 1912 году / сост. инженер путей сообщ. С.А. Васильев, нач. партии по исслед. рек Ленского бассейна. – 1913. 64 с.
77. Михайлов В.Н. Динамика потока и русла в непреливных устьях рек / Тр. ГОИН. Вып. 102. 1971. 260 с.
78. Навигационная карта р. Лены (от с. Турки до с. Никольского) / МПС. Упр. внутренних водных путей и шоссейных дорог; сост. и изд. Партией по исследованию рек Ленского бассейна. - Санкт-Петербург, 1916.
79. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 17. Тюменская и Омская области. Санкт-Петербург. Гидрометеиздат. 1998. – 703 с.
80. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. Санкт-Петербург. Гидрометеиздат. 1993. – 719 с.
81. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 24. Якутская АССР. Книга 2. Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 387 с.
82. Погода и климат. [Электронный ресурс], 2022. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru>
83. Попов И. В. Применение морфологического анализа к оценке общих русловых деформаций р. Оби // Труды ГГИ. 1962. Вып. 94. С. 22-86
84. Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 328 с.
85. Попов И.В. Методические основы исследований русловго процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 208 с.
86. Проектирование судовых ходов на свободных реках / Труды ЦНИИЭВТ. Вып. 36. М.: Транспорт, 1964. 262 с.
87. Резников П.Н. Сток наносов и его проявления в морфодинамике речных русел: Автореф. Дисс. ... канд. Геогр. Наук. М.: Изд-во МГУ, 2007. 23 с.
88. Реки и озера мира. Энциклопедия. – ООО Издательство Энциклопедия, Москва, 2012, 927 с.
89. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индигирский район. Справочник. Л.: Гидрометиздат, 1967. — 443 с.

90. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеиздт, 1985. 264 с.
91. Россинский К.И., Кузьмин И.А. Некоторые вопросы прикладной теории формирования речных русел // Проблемы регулирования речного стока. М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 88-129.
92. Рулёва С.Н. Морфология и динамика русла верхней и средней Оби и влияние на них гидротехнических мероприятий. Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М.: МГУ. 1988
93. Русловой режим средней и нижней Лены. М. ВИНТИ. Деп. №2227-76. 1976. С. 185.
94. Русловые процессы и водные пути рек Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. – 300 с.
95. Рыбкин С.И. Морфометрическая классификация рек // Метеорология и гидрология. 1947. № 4. С. 46-52.
96. Сергутин В.Е., Радюк А.Л. О морфометрии русел и сечении каналов. Красноярск. Изд-во Краснояр. ун-та. 1984. 152 с.
97. Сидорчук А.Ю. Основные результаты палеогидрологического исследования палеорусел перигляциальной зоны последнего оледенения Русской равнины // Маккавьевские чтения – 2003. М.: Географ. ф-т МГУ. 2004. С. 62-70.
98. Тананаев Н.И. Сток наносов и русловые процессы на реках криолитозоны: Автореф. Дисс. канд. Геогр. Наук. М.: Изд-во МГУ, 2007, 27 с.
99. Христофоров И.И., Омеляненко А.В., Омеляненко П.А., Данилов К.П. Гидрорадиолокационное исследование воздействия русловых процессов на опору линейного инженерного сооружения (на примере р. Лены в период весеннего половодья). В книге: Материалы XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения. Book of abstracts. 2017. С. 341-342.
100. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
101. Чалов Р.С. Морфологические проявления современных направленных вертикальных русловых деформаций в речных долинах // Геоморфология, 2007, №2., с. 28-36.
102. Чалов Р.С. О прогнозах русловых деформаций // Геоморфология. 2015. № 4. С. 20-30.
103. Чалов Р.С. Общее географическое и инженерное русловедение, предмет исследований и положение в системе наук // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 1992. № 6. С. 10–16.

104. Чалов Р.С. Общее и географическое русловедение. М.: Изд-во МГУ, 1997. 112 с.
105. Чалов Р.С. Параметризация русловых процессов для прогнозных оценок и диагностики опасных проявлений // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 5. С. 551-562.
106. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД. 2011
107. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. – М.: Издательство ЛКИ, 2008 – 608 с.
108. Чалов Р.С. Русловые процессы на малых равнинных реках как особый тип русловых процессов // Процессы и экологическая обстановка в бассейнах малых рек. Ижевск: Удмурт. Ун-т, 2000. С. 11-16.
109. Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
110. Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В., Головлев П.П., Морозова Е.А., Сурков В.В. Покровско-Якутский водный узел на реке лене: современные деформации и управление русловыми процессами. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 6. С. 83-96.
111. 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, (1):81–91, 2018.
112. 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.
113. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излучины. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 371 с.
114. Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Кирик О.М., Прокопьев В.П., Андросов И.М., Сахаров А.И. Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г.Якутска. В журнале Геоморфология, издательство Наука (М.), № 3, с. 22-35
115. Чалов Р.С., Камышев А.А. Морфодинамика и гидроморфология речных русел как разделы учения о русловых процессах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2020. — № 6. — С. 844–854

116. 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, (2):92–102, 2021.
117. 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). / Р. С. Чалов, А. А. Камышев, А. А. Куракова и др. // География и природные ресурсы. — 2022. — № 2. — С. 102–113.
118. 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, 48(1):22–33, 2021.
119. Чалов Р.С., Кирик О.М. Ленские «разбои»: ретроспективный анализ переформирований, прогнозные оценки и регулирование русла. Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 19. М. с. 294-338. 2015.
120. Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В. Временная трансформация сложноразветвленного русла крупнейшей реки (на примере Приалданского участка р. Лены) // Геоморфология. 2014. №1.
121. Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В. Многолетние направленные и периодические деформации Белогорских перекатов на Лене и временная трансформация подходов к их выправлению. Речной транспорт (XXI век), (2):70–74, 2014.
122. Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В. Якутский водный узел на реке Лене - проблемы русловых процессов: история, современность, перспективы, возможности управления. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 3. С. 44-56.
123. Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В., Броницкий В.И. Кыллахский разбой и Олёкминские перекаты на р. Лене: русловые процессы и путевые работы // Речной транспорт (XXI век). — 2012. — № 3. — С. 82–87.
124. 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, 53(2), С: 72-88, 2022.
125. Чалов Р.С., Павлушкин С.В., Беркович К.М., Рулева С.Н. Техногенная трансформация русла р. Обь в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла и её влияние на состояние водного пути. Речной транспорт (XXI век) №4:16–21, 2021.
126. Чалов Р.С., Рулева 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. – М.: Географ. ф-т МГУ, 2018. – Вып. 20. – С. 149-194.

127. Чалов Р.С., Сурков В.В., Рулёва С.Н., Беликов А.В., Завадский А.С., Бондарев В.П., Ильясов А.К., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Турыкин Л.А. Русловые процессы на р. Оби в районе г. Колпашево, размыв города, компьютерное моделирование и обоснование оптимального варианта защитных мероприятий // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 18. М.: Географ. ф-т МГУ. 2012

128. Чалов Р.С., Чалов С.Р. Структурные уровни и морфодинамическая классификация русловых разветвлений // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 3. С. 259–271.

129. Чалов Р.С., Чалова А.С., Сахаров А.И., Кузьмина Е.М. оценка сложности русловых процессов на р.Лена и управления ими для обеспечения нормальных условий судоходства. Речной транспорт (XXI век). 2018. № 3 (87). С. 53-60.

130. Чалов С.Р. Гидрологические функции русловых разветвлений. Автореф. Дис. Канд. Геогр. Наук. – М. 2007. - 24 с.

131. Чалова (Ермакова) А.С. Структура и содержание первого многоязыкового словаря по русловым процессам // Двадцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Астрахань, 2010. С. 222-224.

132. Чернышов Ф. М. Повышение эффективности путевых работ на многорукавных участках судоходных рек. – Новосибирск: Изд-во НИИВТ, 1973. – 324 с.

133. Чистяков А. А. Горный аллювий. М.: Недра, 1978. 288 с.

134. Чистяков Г.Е. Водные ресурсы рек Якутии. М.:Наука. 1970. 187

135. Чистяков Г.Е. Русловые процессы на реке Лене в районе г. Якутска. В кн.: «Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике», вып. 3, М., из-во АН СССР, 1952.

136. Шатаева С.Г. Определение объемов дноуглубительных работ с помощью показателя устойчивости русла // Труды ЦНИИЭВТ. Вып. 68. 1969. С. 84-121.