

На правах рукописи



Голубцов Георгий Борисович

**Формирование, морфология и динамика островов широкопойменных
русел больших рек
(на примере Оби и Лены)**

1.6.14 – геоморфология и палеогеография

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Москва – 2022

Работа выполнена в Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева географического факультета

МГУ им. М.В. Ломоносова.

Научный руководитель	—	Чалов Роман Сергеевич , доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
Официальные оппоненты	—	Барышников Геннадий Яковлевич , доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и геоэкологии Алтайского государственного университета Лебедева Екатерина Владимировна , кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоморфологии Института географии Российской академии наук
Ведущая организация	—	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск

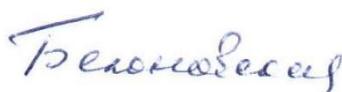
Защита диссертации состоится «17» марта 2023 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.049.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии Российской академии наук» по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, и на сайте Института: <http://igras.ru/defences>.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумажных носителях в двух экземплярах, заверенные подписью и печатью) просим направлять по адресу 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, Диссертационный совет 24.1.049.02, e-mail: d00204603@igras.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук



Е.А. Белоновская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования обусловлена тем, что русловые разветвления, являясь самыми сложными среди всех морфодинамических типов русла, отличаясь большим разнообразием морфометрических характеристик, степенью развитости рукавов и их активными переформированиями в ходе русловых деформаций, в то же время относятся к наименее изученным в отношении создающих их островов как основной формы руслового рельефа. Русловые разветвления определяют рассредоточение потока и переформирования как отдельных рукавов, так и узлов разветвления в целом. В условиях свободного развития русловых деформаций они отличаются особенно большим разнообразием и интенсивностью изменений во времени.

Начиная со второй половины XX века, все большее внимание при изучении русловых процессов уделяется большим и крупнейшим рекам, имеющим русла, разветвленные на рукава. Однако исследования в основном сосредотачиваются на выявлении режима деформаций разветвлений, их типизации, рассредоточении стока и обосновании методов регулирования при освоении речных ресурсов (труды Н.И. Маккавеева, Ф.М. Чернышова, Р.С. Чалова, К.М. Берковича и др.). В то же время создающие разветвления острова, как важнейший морфологический элемент разветвленного русла, рассматриваются лишь в контексте переформирований, тогда как их морфология, морфометрические характеристики, динамика и временная трансформация, связь с водностью и параметрами русел рек, устойчивостью и морфодинамическим типом самих разветвлений обычно остается вне поля зрения исследователей. Имеющиеся результаты исследований и гидролого-морфологическая оценка разветвлений и, главным образом, островов на больших и крупнейших реках в основном относятся к отдельным морфологически однородным участкам и не характеризуют разветвления на всем или большем протяжении широкопойменных русел. Кроме того, формирование русел больших и крупнейших рек, в частности Оби и Лены, происходит при существенных различиях физико-географических и гидрологических (водоносности) факторов (при относительной однородности песчаных и суглинистых отложений, слагающих широкие долины и определяющие свободные условия развития русловых деформаций); поэтому они отличаются морфологическим многообразием островов, режимом переформирований связанных с ними разветвлений, специфическими проявлениями морфометрии островов.

Объекты исследования – сложноразветвленные широкопойменные русла большой и крупнейшей рек России – *верхней Оби* (в пределах наибольшего распространения разветвленного русла), *средней и нижней Лены* в пределах Централь-

Якутской низменности (от г. Покровска до с. Жиганска на полярном круге) протяженностью 180 км и 850 км, соответственно, изменяющие свои морфографические, морфометрические и гидрологические характеристики по длине. Для обеих рек характерно абсолютное преобладание разветвленного русла и схожий набор морфодинамических типов русла при максимальном разнообразии их разновидностей, что являлось главным критерием при выборе объектов исследования.

Цель исследования: гидролого-морфологический и морфометрический анализ островов широкопойменных русел рек верхней Оби, средней и нижней Лены, выявление особенностей их морфометрии и динамики в зависимости от морфодинамического типа разветвленного русла, его параметров и водности, что обеспечит углубление знаний о географии русловых процессов в отношении русел рек, разветвленных на рукава, их морфодинамики и гидроморфологии. Достижение цели связано с решением следующих задач:

- Обобщить материалы ранее выполненных исследований широкопойменных разветвленных русел больших и крупнейших рек России;
- Установить закономерности распространения морфодинамических типов разветвленных русел, условий их развития и связей с размерами и морфологией островов, обосновать показатели, характеризующие морфометрию и динамику разветвлений и образующих их островов;
- Выявить связи между параметрами русла и островов, их зависимость от геоморфологических, гидрологических и других природных факторов русловых процессов;
- Разработать морфометрическую классификацию островов с учетом их динамики и стадий развития;
- Определить основные этапы формирования островов как основного элемента прогнозных оценок переформирования разветвленного русла;
- Оценить возможные изменения разветвлений и островов в будущем при сохраняющихся тенденциях переформирования русла и под влиянием изменений природных и антропогенных факторов.

Защищаемые положения.

1. Свободные условия развития русловых деформаций, широкопойменный геоморфологический тип русел, слабая устойчивость русла обуславливают образование многочисленных островов, рассредоточение стока и формирование разветвлений разного типа.

2. Морфометрические параметры островов и степень разветвленности русла определяются морфодинамическим типом разветвлений, рассредоточенностью стока и формированием островов в активной или периферической частях русла, в основных или второстепенных рукавах разветвленного русла.

3. Определены основные стадии развития островов, каждая из которых может быть в зависимости от местных условий завершающей (осередок → элементарный → малый → средний → большой остров → островной массив) и их причины: зарастание осередков и отмелей, объединение островов.

4. Обе реки, несмотря на различия в размерах и физико-географических условиях формирования имеют одинаковые морфодинамические типы русла и характеризуются едиными гидролого-морфологическими зависимостями (с учетом разницы в водности рек).

Фактический материал, личный вклад автора. Основными материалами, положенными в основу диссертации, являются результаты русловых экспедиционных исследований, выполненных научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова, планы русел, составляемые изыскательскими партиями Барнаульского (Обь) и Якутского (Лена) районов водных путей и судоходства, лоцманские и топографические карты разных лет издания, космические снимки. Автор принимал непосредственное участие в полевых работах и натурных исследованиях на Оби (от слияния Бии и Катунь до г. Барнаула в 2016 г, район г. Колпашево в 2021 г.) и на средней и нижней Лене (от п. Мохсоголоох до устья Алдана в 2017-2019 гг. и в 2021 г.; ниже устья р. Алдана в 2021 г.). Использовались отчеты экспедиций лаборатории, архивные и современные данные по морфологии днищ долин, уклонам, крупности современного аллювия (руслообразующих наносов), определяющих устойчивость русла, скорости потока, рассредоточению стока воды в разветвлениях русла.

Методы исследования. Исследования выполнены с использованием метода гидролого-морфологического анализа речных русел, позволяющего устанавливать зависимости параметров русловых форм (островов) от определяющих факторов, морфометрических и морфологических характеристик русла, выявлять тенденции и направленность переформирования русла, разрабатывать прогнозные оценки. Данные о параметрах русла и островов и их изменениях получены по разновременным космическим снимкам, лоцманским картам (картам рек) разных лет издания, а также на основе полевых работ, проведенных в 2016-2021 гг. Натурные исследования выполнялись с использованием современной аппаратуры: акустических доплеровских профилографов

(ADCP), систем спутникового позиционирования, эхолотов, турбидиметров (приборов для измерения мутности) и др. Характеристика динамики островов и разветвлений проводилась с использованием метода ретроспективного руслового анализа с использованием карт и снимков русла за период с 1960-х по 2021 г.

Научная новизна. Речные острова при большом разнообразии их форм, размеров, условий образования слабо освещены в литературе по русловым процессам и морфологии речных русел. В работе: 1) впервые дан детальный сравнительный анализ двух протяженных участков широкопойменного неустойчивого или слабоустойчивого разветвленного русла большой (верхняя Обь) и крупнейшей (Лена) рек; 2) выявлено сходство и различие в условиях формирования и морфологии островов, установлено влияние размеров (водности) реки и степени устойчивости (при вариации ее показателей) русла на их формирование, морфометрические характеристики и количество в зависимости от ширины русла и положения островов в активной и периферических его зонах; 3) обоснована морфолого-морфометрическая классификация островов, связанная с этапами их формирования; 4) определены и систематизированы закономерности горизонтальных русловых деформаций при формировании островов разного типа и в разных частях русла.

Практическая значимость. Анализ морфологии и морфометрии островов, как основных элементов разветвлений речных русел, их развития и гидролого-морфологических соотношений и связей с определяющими факторами русловых процессов позволяют получить представление о современном состоянии разветвлений и дать основу для прогнозных оценок русловых переформирований, выявить общие закономерности формирования и развития островов и связанных с ними разветвлений, влияние на них местных условий, степени устойчивости русла и пр. Установленные зависимости, морфометрические и динамические характеристики островов в руслах с различными типами разветвлений должны учитываться при решении задач, связанных с водохозяйственным и водотранспортным использованием рек как в настоящее время, так и при перспективных планах с учетом прогнозных оценок переформирований русел, в первую очередь, для обеспечения на реках оптимальных судоходных условий, особенно при возрастающей антропогенной нагрузке.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на ряде научных семинаров и конференций: на семинаре научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им Н.И. Маккавеева (МГУ, 16 мая 2022 г), на ежегодных семинарах «Маккавеевские чтения» (МГУ, 2019 и 2021 гг.), на XXXV (Курск, октябрь 2020), XXXVI (Ижевск, октябрь 2021 г) и XXXVII (Рязань, октябрь 2022 г)

пленарных межвузовских координационных совещаниях по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов; XII (г. Чебоксары, май 2018 г) и XIII (г. Набережные Челны, апрель 2022 г) семинарах молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, на международной научно-практической конференции «Гришанинские чтения: Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения на водных путях» (г. Санкт-Петербург, 2-5 июня 2021 г.).

Результаты диссертационного исследования нашли отражение в научных статьях и отчетах, выполненных по грантам РФФИ «Разветвления русел равнинных рек (многоорукавные русла): гидролого-морфодинамический анализ, гидрологические функции, временная трансформация, методы управления для обеспечения гидроэкологической безопасности» (проекты 18-17-00086 и 18-17-00086 П). Достоверность данных, полученных в результате натурных исследований, подтверждается их выполнением на новейшем оборудовании с использованием современных методов обработки, неоднократным использованием данных методов и приборов при выполнении полевых работ лаборатории и составлении научно-технических отчетов, а также при публикации рецензируемых научных статей и монографий по соответствующей тематике.

По результатам исследования подготовлено 13 публикаций, в том числе 4 статьи в научных журналах, включенных в перечень российских рецензируемых журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 5 статей в прочих журналах и сборниках, и 4 тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы. Общий объем текста составляет 200 страниц, содержит 79 рисунков и 36 таблиц. Список литературы состоит из 149 наименований, из них 23 на иностранном языке, а также включает 15 архивных материалов (научно-технических отчетов и лоцманских карт).

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.г.н., профессору Роману Сергеевичу Чалову за всестороннюю помощь в проведении исследований и подготовке диссертации на всех этапах, сотрудникам научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, в первую очередь, в.н.с., к.г.н. А.С. Завадскому, с.н.с., к.г.н. С.Н. Рулевой, д.г.н., в.н.с. К.М. Берковичу, м.н.с. П.П. Головлеву, с.н.с., к.г.н. Д.В. Ботавину, с.н.с., к.г.н. В.В. Суркову а также доценту кафедры гидрологии суши д.г.н. С.Р. Чалову за консультации, в том числе при проведении экспедиционных исследований, предоставление фондовых и архивных материалов, коллективу кафедры геоморфологии и палеогеографии

географического факультета МГУ, Администрациям Ленского и Обского бассейнов внутренних водных путей, предоставившим техническую возможность проведения исследований в период 2017-2021 гг., а также руководству Барнаульского района водных путей и судоходства и работникам его изыскательской партии, в которой автор работал в навигацию 2016 г.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность и научная новизна темы исследования, сформулированы цели и задачи, охарактеризована практическая значимость исследования, описаны методика и фактический материал, использованный в работе, сформулированы защищаемые положения, указаны сведения об апробации работы, ее структура и объем.

В **первой главе** описаны современные представления о морфологии и динамике речных островов и их роли в формировании и режиме русловых разветвлений. Дан краткий исторический очерк основных этапов и закономерностей развития учения о русловых процессах, в котором, в том числе, указаны основные подходы к изучению и существующие классификации русел рек, разветвленных на рукава. В общем виде рассмотрены причины формирования разветвлений, вопросы их изучения, структурные уровни развития. Обоснована значимость *гидролого-морфологического анализа* для исследования морфологии и динамики русел на примерах его применения (по литературным данным) к другим рекам. Отдельный раздел посвящен изученности русловых процессов на Оби и Лене, их аспектам и направлениям исследований в разные периоды, показаны основные этапы комплексных исследований и дан анализ выполненных по ним публикаций, связанных, в том числе, с морфологией и динамикой островов и русловыми переформированиями разветвленных русел. Несмотря на значительный объем имеющегося материала по данным рекам, вопросы морфологии, морфометрии и динамики островов и их трансформации во времени на столь протяженных участках практически до сих пор не рассматривались.

Вторая глава посвящена условиям и факторам формирования широкопойменных русел Оби и Лены на рассматриваемых участках, включающим физико-географические особенности регионов, по которым протекают реки и геолого-геоморфологическое строение долин и примыкающих участков междуречий, гидрологический и русловой режим, многолетние изменения характеристик стока.

Русло *верхней Оби* формируется в условиях свободного развития русловых деформаций, при которых песчано-суглинистый состав отложений, слагающих борта и днище долины предопределяет их лёгкую размываемость и большие темпы разрушения

берегов, достигающих на отдельных участках первых десятков метров в год. Геоморфологически, равнинные территории в верхней части бассейна – Приобское степное плато (левобережье) и Бийско-Чумышское междуречье (правобережье) представляют собой, соответственно, пластово-аккумулятивные или аккумулятивные равнины на рыхлых, неоген-четвертичных отложениях. В отношении крупных тектонических структур бассейн верхней Оби находится в переходной (предгорной) зоне от молодой Западно-Сибирской платформы к орогенным сооружениям Алтая [Рулева, Барышников, 2015]. Исследуемый участок находится на юго-востоке Кулундинской депрессии, являясь частью Бийско-Барнаульской впадины. Мощность плиоцен-четвертичных толщ, входящих в состав мезо-кайнозойского осадочного чехла, составляет от 800 до 1200 м. Абсолютные отметки Приобского плато достигают 200-250 м, что при отметках современного уреза порядка 140-145 м, говорит о глубине вреза долины в слабоволнистую поверхность плато равную 100-110 м, при этом и в настоящее время наблюдается слабое врезание реки со скоростью до 0,5 мм/год [Маккавеев, Чалов, 1964]. На субширотном отрезке долины (от слияния до устья Чарыша) левый коренной берег представлен уступом Колыванского увала, представляющего собой относительно повышенный участок Приобского плато, с отметками до 260-275 м. В долине верхней Оби широко представлен комплекс надпойменных террас, распространенный преимущественно вдоль правого берега. Террасы верхней Оби образуют ступенчато-наклонную равнину, протягивающуюся от г. Бийска до г. Камень-на-Оби. Здесь выделяются четыре основных террасовых уровня: с высотами над урезом 8-12 (до 18) м, 20-30 м, 30-35 (до 40) м и 40-55 (до 60) м соответственно [Демин, 1995]. На правом берегу субширотного участка весь комплекс террас сложен песками, и только в верхней части толщи отмечаются лессовидные суглинки. Галечники встречаются, в основном, в основании обрывов террас непосредственно ниже слияния Бии и Катунь вдоль правого берега (с. Фоминское). Вдоль левого берега террасовый комплекс редуцирован и представлен только отдельными фрагментами низкой террасы, которая отделяет широкую пойму от уступа Колыванского увала. Литологический состав отложений, слагающих пойму на всем протяжении достаточно однотипен и представлен в основном мелко- и среднезернистыми песками, супесями и суглинками с редкими прослоями более крупного материала: гальки и гравия, залегающего преимущественно в основании пойменной толщи. Отличительной особенностью поймы верхней Оби является ее большая ширина по отношению к ширине русла: практически на всем протяжении участка выдерживается соответствующее соотношение 1:3÷1:4 (при суммарной ширине самой поймы – до 15-18 км). Высота низкой и средней береговой поймы составляет в основном 4-6 (до 8 м),

аналогичными значениями характеризуется и островная пойма, повсеместно формируя первую пойменную ступень с высотой бровки от 4 до 8 м.

Территория бассейна верхней Оби, расположенного в степной зоне, относится к умеренному климатическому поясу и характеризуется континентально-циклоническим его типом с продолжительной холодной зимой и сравнительно теплым летом.

Водный режим р. Оби формируется в условиях континентального климата, верховья водосбора расположены в горных районах и лесостепной зоне. Тип питания рассматриваемого участка – смешанный, с преобладанием снегового, доля которого достигает 50%, около четверти годового стока формируется вследствие выпадения дождей, 16 % – подземными водами [Реки и озера...,2012]. Так как верховья Катуня находятся в горных районах с распространением горного оледенения, то для этой реки, а, соответственно, для верхней Оби характерно наличие небольшой доли ледникового питания, которая составляет около 8-10 % от общего стока [Алешина, Гефке, 2019]. В зависимости от водности года на Оби в период половодья проходит около 50% годового стока, при этом наибольший сток наблюдается в мае-июне (до 28%). В целом на летне-осенний период приходится от 32% до 42% стока. Согласно классификации Б.Д. Зайкова [1937], река принадлежит к алтайскому типу водного режима, с растянутым гребенчатым половодьем и осенне-зимней меженью. Половодье почти всегда характеризуется двумя отчетливо выраженными волнами. Первая – в конце апреля и начале мая, обусловленная таянием снега на равнинных и предгорных участках бассейна, вторая – в начале-середине июня, связанная с более поздним таянием ледников и снегов горных территорий Алтая. Средний максимальный расход, по данным г.п. Фоминское (5 км ниже слияния), составляет 5190 м³/с, наибольший 11200 м³/с, средний минимальный - 659 м³/с, а наименьший – 360 м³/с. Абсолютный минимум для зимнего периода – 125 м³/с. Среднегодовое количество воды для данного участка равно 1150 м³/с, что соответствует объему годового стока 36,3 км³.

Сток наносов максимален в период прохождения весеннего половодья. В течение приблизительно полутора месяцев активного снеготаяния и поступления наносов вместе с талыми снеговыми водами в русло, проходит до 80% годового стока взвешенных наносов. В этот период расходы взвешенных и влекомых наносов в 5-10 раз превышают среднегодовые показатели. Суммарный сток наносов на верхней Оби (г.п. Фоминское) оценивается в 5,65 млн. т, из них взвешенных – 5 млн. т., влекомых – 0,65 млн. т, причем доля стока последних в межень существенно выше (0,46 млн. т) [Чалов, Лю Шугуан, Алексеевский, 1999].

Для верхней Оби *руслоформирующие расходы воды* проходят в интервале от 1750 до 5000 м³/с, с максимумом 2950 м³/с, что соответствует затоплению бóльшей части низкой и частично средней поймы. Вероятность достижения расходов данного интервала составляет 25 %.

Русло *средней и нижней Лены* в пределах рассматриваемого участка также формируется в свободных условиях развития русловых деформаций.

На всем протяжении верхнего и части среднего течения р. Лена протекает вдоль Северо-Байкальского нагорья и далее почти до г. Покровска между Приленским плато справа и северной частью Алданского нагорья слева, характеризуясь врезанным руслом, узким днищем и высокими (до 200-250 м) бортами долины. Ниже г. Покровска река входит в пределы Центрально-Якутской низменности, ширина днища долины резко возрастает, достигая в среднем 20-30 км. Ниже устья Алдана низменность ограничивается с востока отрогами Верхоянского хребта, которые максимально близко подходит к руслу уже в районе устья Вилюя. Широкопойменное русло распространено на Лене вплоть до с. Жиганска, ниже которого формируется относительно прямолинейное неразветвленное русло – Ленская «труба», переходящее в обширную дельту.

Сужающие днище долины и образующие крутые коренные склоны выступы – Табагинский утес и Кангаласский Камень (в районе г. Якутска), а так же отроги горных хребтов вдоль правого берега в районе устья Вилюя, сложены преимущественно осадочными верхнемеловыми породами (песчаниками и реже алевролитами). К наиболее молодым дочетвертичным отложениям относятся позднеплиоценовые песчано-гравийные толщи, распространенные на левобережье у устья Алдана (в пределах Нижне-Алданской впадины) и на участке выше с. Жиганск (1095-850 км). Четвертичные осадки (преимущественно озерно-ледникового и аллювиального генезиса) широко распространены на всех участках по всей длине долины [Коржуев, 1959].

Террасы на средней и нижней Лене встречаются в основном в расширениях долины, а также наиболее часто приурочены к резким изгибам береговой линии или к местам впадения притоков. Высота наиболее распространенной второй (в районе г. Якутска носящей название «Бестяхская») террасы колеблется от 28 до 40 м над урезом [Правкин, Большианов и др., 2018]. В пределах Центрально-Якутской низменности преобладает двусторонняя пойма высотой над урезом от 2,5 до 7 м, ниже устья Алдана развита в основном левобережная пойма, в то время как вдоль правого берега она встречается эпизодически. Отложения поймы представлены в основном песками и суглинками, с прослоями более крупного материала – гравия и гальки, доля которого увеличивается в районе подхода к реке выступов коренных пород [Правкин, Большианов

и др., 2018]. Высота островной поймы зависит от стадии развития и размеров острова, но в подавляющем большинстве случаев соответствует уровню береговой и находится в пределах 5-7 м.

Ширина днища долины и, соответственно поймы, в целом зависит от тектонической структуры, в пределах которой она расположена; пересекая поднятия и выступы – она сокращается, в пределах впадин – увеличивается. В отличие от верхней Оби соотношение ширины поймы и русла на Лене меньше – $1:2 \div 1:3,5$, в то время как максимальная суммарная ширина русла достигает 28 км (на 1165 км судового хода от устья). Долина реки Лены на исследуемом участке целиком расположена в мерзлотно-таежной ландшафтно-климатической зоне, что определяется сплошным распространением многолетнемерзлых пород. На р. Лене большое значение в формировании русла имеет ледовый режим, особенно – ледовые заторы в период ледохода, вызывающие наводнения и развитие рукавов, а также разрушение берегов и оголовков островов массивами льда.

Водный режим р. Лены формируется в условиях исключительно сурового, резко континентального климата и сплошного распространения многолетней мерзлоты. Питание реки смешанное, с преобладанием снегового (для средней Лены – 55% от общей доли стока, для нижней – превышает 60%). В летний период часты повышения уровней воды – дождевые паводки, формирующиеся на крупных притоках в средней (Витим, Олекма) и нижней (Алдан) частях бассейна. Водный режим р. Лены характеризуется низкой зимней меженью, резким и высоким подъемом уровней воды в период половодья и относительно высокой летне-осенней меженью, прерывающейся дождевыми паводками, что соответствует Восточно-Сибирскому типу водного режима (по классификации Б.Д. Зайкова). Амплитуда уровней возрастает вниз по течению. Дождевое питание больше грунтового, однако не превышает 25% от общего стока [Реки и озера., 2012].

За период наблюдений значения среднегодового расхода Лены менялись в пределах от 5030 до 10500 м³/с в районе г.п. Табага и от 12700 до 23100 м³/с в районе г.п. Кюсюр. Средний за многолетний период годовой расход воды в створе г.п. Табага составляет 7260 м³/с, г.п. Кюсюр – 17000 м³/с. Средний минимальный расход в период летней межени 6180 м³/с на г.п. Табага и 17500 м³/с на г.п. Кюсюр, минимальный зимний - 924 м³/с и 1570 м³/с соответственно. В отличие от верхней Оби, на русловой режим Лены оказывают серьезное влияние ее крупнейшие притоки – Алдан и Вилюй, которые помимо увеличения стока (Алдан – 30%, Вилюй – 10-15%), оказывают подпорные явления в узлах слияния и являются мощными источниками поступления наносов.

Сток наносов на Лене отличается высокой долей влекомых (руслообразующих) наносов и спецификой своего формирования. Сток влекомых наносов рассчитан по

методике Н.И. Алексеевского [1998], основанной на данных о размерах и скоростях смещения гряд: его среднегодовая величина – 5,45 млн. тонн, из них в межень – 0,85 млн. тонн, в половодье и паводки – 4,58 млн. тонн, что составляет 37,6% от общего стока наносов [Чалов и др., 2000]. Сток взвешенных наносов составляет 12,62 млн. т на средней Лене (г.п. Табага) и 26,8 млн. т на нижней Лене (г.п.Кюсюр).

Руслоформирующие расходы. Для г.п. Табага руслоформирующим расходами воды являются: верхний, проходящий при затоплении средней и высокой поймы (24000 м³/с, обеспеченность 7%) и нижний, соответствующий затоплению прирусловых песчаных отмелей (10500 м³/с, обеспеченность 16%). На нижней Лене бóльшая растянутость спада весеннего половодья обуславливает значительную продолжительность этапа активных переформирований русла и специфику прохождения руслоформирующих расходов: они здесь наблюдаются в течение июня-июля (оба интервала, или только верхний) и даже августа (нижний интервал). Обеспеченность верхнего интервала – 4%, при значении расхода 41 000 м³/с и полном затоплении поймы.

В **третьей главе** дается подробная характеристика морфодинамических типов русел и степени устойчивости рассматриваемых участков рек. Интенсивность русловых переформирований, скорости смещения побочной перекатов, темпы размыва берегов, развитие одних и обмеление других рукавов в разветвленном русле зависят, главным образом, от **устойчивости русла**. Кроме того, от устойчивости зависит как сам морфодинамический тип русла и разветвлений, так и многообразие их форм, что характерно как для верхней Оби, так и для средней и нижней Лены. В работе использовались два основных показателя: число Лохтина $L = d_{cp}/I$ и коэффициент стабильности Н.И. Маккавеева $K_c = d_{cp}/I \cdot b_p$, где d_{cp} – средний диаметр руслообразующих наносов, мм; I – уклон, ‰; b_p – ширина русла в пойменных бровках, м. По классификации Р.С. Чалова [2008], верхняя Обь и средняя и нижняя Лена относятся к рекам с неустойчивым и слабоустойчивым руслом: для верхней Оби неустойчивое – $L = 1,0 \div 2,5$, $K_c = 2 \div 4$; слабоустойчивое – $L = 2,5 \div 5$, $K_c = 4 \div 15$, для средней и нижней Лены ($L = 5 \div 9,5$, $K_c = 5 \div 10$; $L > 9,5$, $K_c = 10 \div 16$ соответственно). Верхняя Обь характеризуется направленным (от слияния Бии и Катуня и вниз по течению) возрастанием показателей степени устойчивости. Более сложное распределение показателей устойчивости на средней и нижней Лене, где наблюдается чередование участков с бóльшей или меньшей устойчивостью. Наибольшие значения показателей отмечаются в местах стеснения днища долины бортами, сложенными коренными трудноразмываемыми породами: левый берег в районе г. Покровска, Табагинский утес, Кангаласский камень, правый берег между

устьями Алдана и Вилюя. Этим участкам также соответствует увеличение крупности современного руслового аллювия (руслообразующих наносов).

Рассматриваемые участки Оби и Лены характеризуются абсолютным преобладанием широкопойменного разветвленного русла, формирующегося в легкоразмываемых отложениях. Несмотря на относительно небольшую протяженность многообразие разветвлений на верхней Оби достаточно велико (рис.1).

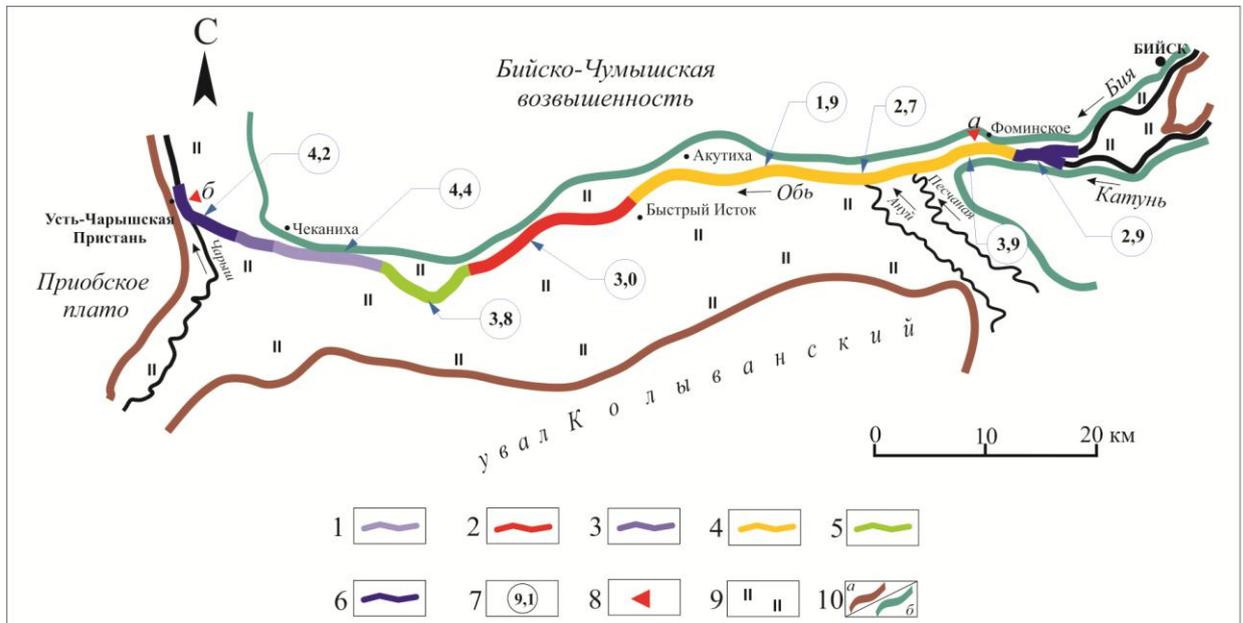


Рисунок 1 – Схема распространения морфодинамических типов русла и геоморфологических условий их формирования на верхней Оби: 1 – односторонние разветвления; 2 – чередующиеся односторонние разветвления; 3 – одиночные в т.ч. сложные одиночные разветвления; 4 – параллельно-рукавные разветвления; 5 – свободная сегментная излучина ($l/L = 1,4$); 6 – разветвления в устьях рек; 7 – показатель степени устойчивости русла (число Лохтина) на ключевых участках; 8 – гидрологические посты (а – Фоминское; б – Усть-Чарышская Пристань); 9 – пойма; 10 – бровки: а – бортов днища долины, б - надпойменных террас.

Около половины от общей длины всех разветвлений на верхней Оби составляют параллельно-рукавные, примерно равные доли (10-14%) занимают односторонние и двусторонние, сложные одиночные и устьевые (в узлах слияния с крупными притоками) разветвления, еще 22% приходится на чередующиеся односторонние разветвления (рис.2).

Протяженный участок Лены (от г. Покровск до с. Жиганск) представлен разнообразными типами русла, включающими в основном русловые разветвления, доля которых с учетом разветвленно-извилистого русла составляет 94,5%. Оставшиеся 5,5% приходятся на относительно прямолинейное неразветвленное русло, которое короткими вставками располагается в местах сужения днища долины (рис.3).

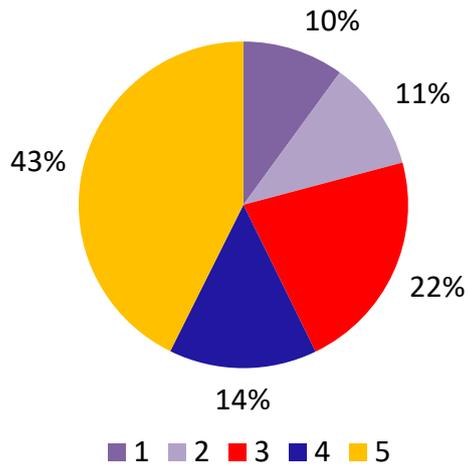


Рисунок 2 – Основные морфодинамические типы разветвлений на верхней Оби: 1 – сложные одиночные; 2 – односторонние; 3 – чередующиеся односторонние; 4 – устьевые; 5 – параллельно-рукавные.

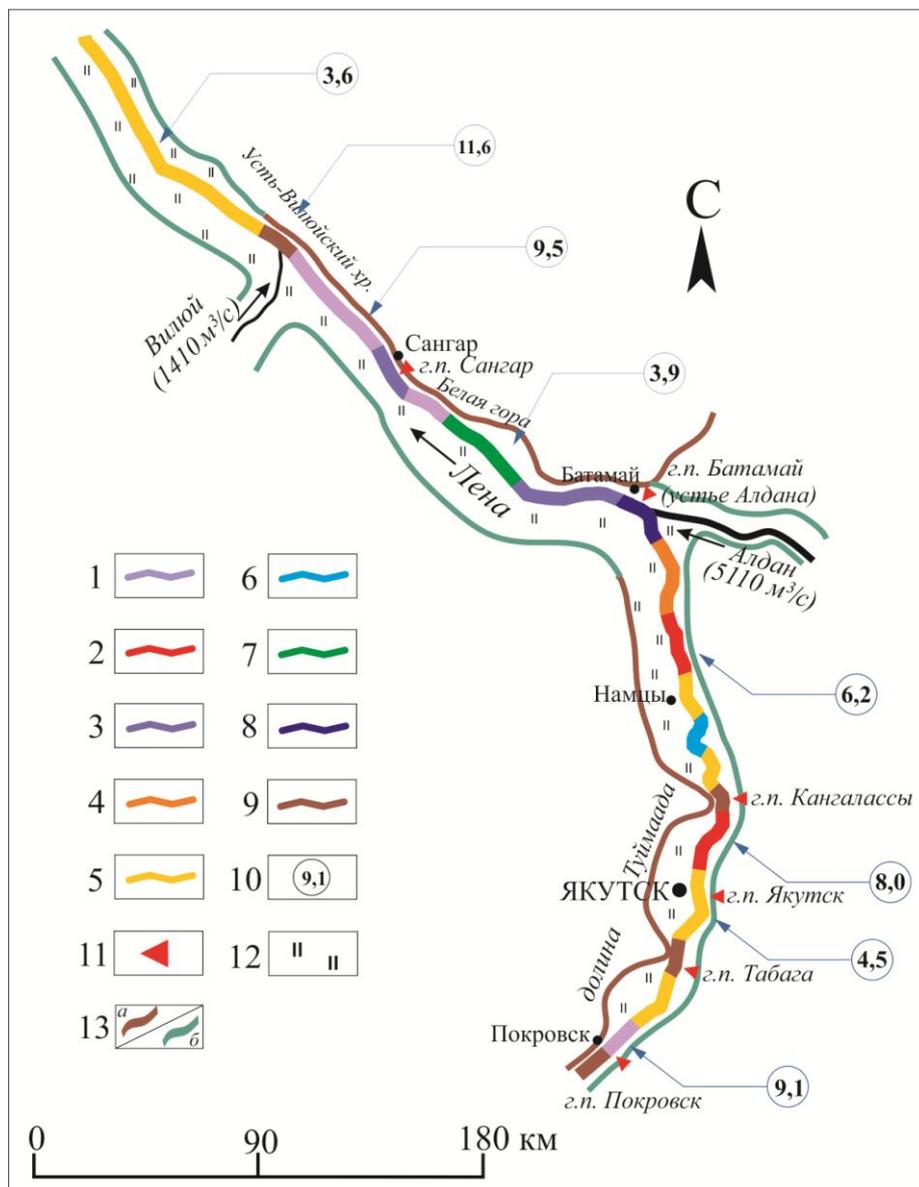


Рисунок 3 – Схема распространения морфодинамических типов русла и геоморфологических условий их формирования на средней и нижней Лене: 1 – одиночные в т.ч. сложные одиночные разветвления; 2 – чередующиеся односторонние разветвления; 3 – односторонние разветвления; 4 – сопряженные разветвления; 5 – параллельно-рукавные разветвления; 6 – разветвлено-извилистое русло; 7 – пойменно-русловые разветвления; 8 – разветвления в устьях рек (дельтовые); 9 – относительно прямолинейное, неразветвленное русло; 10 – показатель степени устойчивости русла (число Лохтина) на ключевых участках; 11 – гидрологические посты; 12 – пойма; 13 – бровки склонов а: коренных бортов долины, б: надпойменных террас.

Распространение морфодинамических типов русла (включая разветвленно-извилистое) представлено на рис.4,А. Без учета относительно прямолинейного неразветвленного русла распределение морфодинамических типов разветвлений показано на рис. 4,Б. Наибольшую долю (в сумме 60%) занимают параллельно-рукавные и односторонние разветвления. Около 15 % приходится на одиночные и сложные одиночные разветвления, которые особенно распространены ниже устья Алдана, 13 % занимают сопряженные разветвления, оставшиеся 12 % приходятся на пойменно-русловые, чередующиеся односторонние и устьевые (в узлах слияния рек) разветвления, которые занимают 6, 5 и 1% длины русла соответственно.

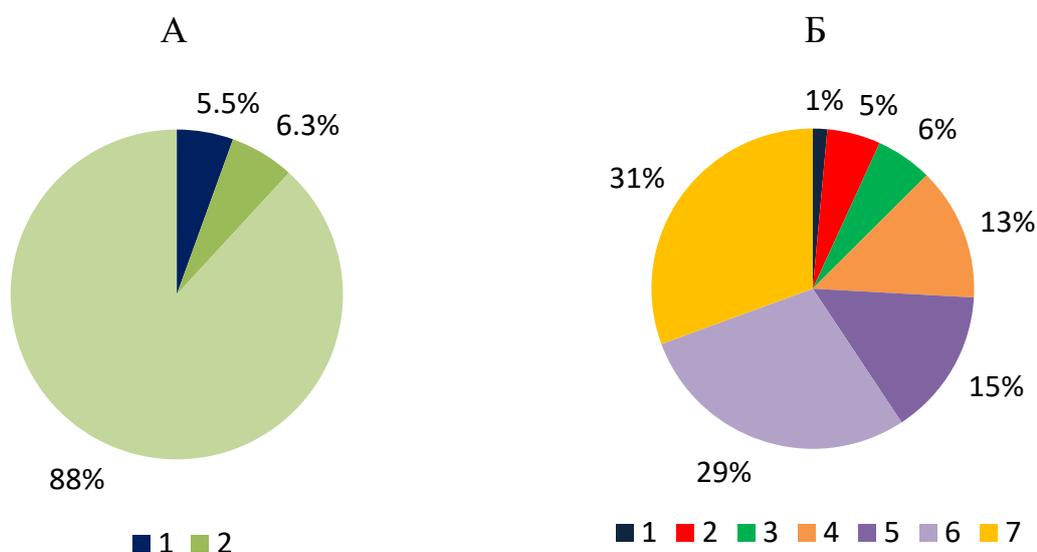


Рисунок 4 – А: Распространение морфодинамических типов русла на средней и нижней Лене: 1 – относительно прямолинейное неразветвленное; 2 – разветвленное, в т.ч. разветвлено-извилистое; Б: Основные морфодинамические типы разветвлений (без учета прямолинейного русла) на средней и нижней Лене: 1 – устьевое (при слиянии с Алданом); 2 – чередующиеся односторонние; 3 – пойменно-русловое; 4 – сопряженные; 5 – одиночные (в т.ч. сложные одиночные); 6 – односторонние; 7 – параллельно-рукавные.

Изредка русло подходит к уступам террас (Бестяхская, Песчаная гора) и высоким мысам, сложенным коренными породами (Табагинский утес, Кангаласский камень). В первом случае уступы сложены легкоразмываемыми породами и служат мощным источником поступления наносов в русло, что приводит к формированию ниже по

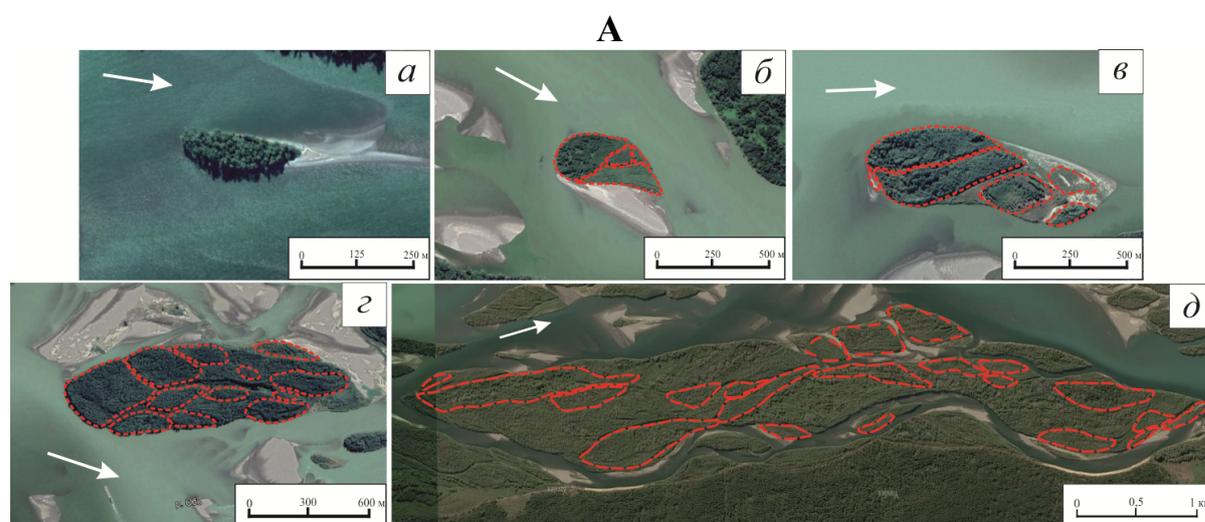
течению сложных разветвлений. Руслообразующие наносы на средней и нижней Лене преимущественно песчаные, гравий и галька встречаются только ниже стеснения русла выступами коренных пород, а также ниже впадения притоков – малых рек, стекающих со склонов Верхоянского хребта ниже устья р. Алдан. Наносы, выносимые в русло Алданом, не оказывают существенного влияния на русловые деформации, ограничиваясь приустьевой областью в правой части русла непосредственно ниже узла слияния. Наносы из Вилюя оказывают влияние на развитие и переформирование разветвлений, поступая и аккумулируясь в левобережных рукавах и протоках ниже по течению, однако гранулометрический состав руслообразующих наносов не изменяется.

Четвертая глава посвящена островам, их морфометрическим характеристикам, морфологии, расположению в русле, стадиям развития и особенностям их многолетних деформаций. Рассмотрены условия образования осередков и их зарастание и превращение в молодые элементарные острова, обуславливающие разделение потока на ветви течения даже при полном их затоплении в многоводную фазу режима (вплоть до экстремально высоких уровней подъема воды). Это определяется их относительной высотой над меженным уровнем воды и наличием растительности, особенно древесной и кустарниковой, обеспечивающей на порядки большую шероховатость подстилающей поверхности реки над островом, что является первым основным этапом их формирования и переходом к русловому (островному) структурному уровню разветвлений.

При всем морфологическом разнообразии островов в русле Оби и Лены можно выделить их следующие типы (элементы последовательного ряда) [Голубцов, Чалов, 2020]: **элементарные острова** (рис.5, Аа,Ба), формирующиеся при зарастании осередков, сохраняющие их форму и размеры: на верхней Оби их длина и ширина колеблется от нескольких десятков до сотен метров, на средней Лене – до 1-2 км при ширине русла, соответственно, до 2,5 и 5-7 км, на нижней Лене они достигают в длину 3-4 км при суммарной (вместе с островами) ширине русла до 12-18 км. **Малые острова** (рис.5, Аб,Бб), возникающие при объединении 2-3 элементарных и причленении к ним побочной и кос, зарастающих и увеличивающих размеры первичного острова; преобладающие их размеры на больших реках – сотни метров (реже первые километры) в длину и 200-300 м в ширину при средней суммарной ширине русла вместе с островами – 3-5 км, однако при увеличении ширины русла и водности реки их длина достигает 4-5 км. **Средние острова** (рис.5, Ав,Бв), образующиеся как несколькими объединившимися малыми или элементарными, а также вследствие причленения к ним побочной со стороны рукавов или к оголовкам и кос в ухвостьях при частичном, обычно с оголовков, размыве; их размеры

сопоставимы с размерами русла, имея на больших реках – верхней Оби и средней Лене – 3-7 км в длину и 1-1,5, реже – 2 км в ширину при суммарной ширине русла соответственно 3-4 и 7-8 км. **Большие острова** (рис.5, Аг,Бг), представляющие собой несколько объединившихся малых и средних при обсыхании и зарастании разделяющих их протоков; это – наиболее крупные формы в русловых разветвлениях, квазистабильные, неправильной формы, подверженные лишь частичным переформированиям в течение многих десятилетий и даже столетий. Как правило, они располагаются вне зоны активных русловых деформаций, но иногда встречаются посередине реки, образуя одиночные, отдельные звенья сопряженных и параллельно-рукавных разветвлений (последние – на крупнейших реках со слабоустойчивым или неустойчивым руслом, например, на нижней Лене ниже устья Вилюя, или во врезанном устойчивом русле, как на средней Лене или на Ангаре [Чалов, С. Чалов, 2009]). В ширину они достигают на средней Лене 3-5 км при длине до 10-12 км, что является предельными значениями для соответствующих им типов разветвлений.

В процессе развития (постепенного приращения новых островов, зарастания побочной), развития кос в ухвостьях и объединения за счет отмирания протоков, острова приобретают все большие размеры, и со временем в условиях снижения транспортирующей способности потока образуют **островные массивы** (рис.5, Ад,Бд) сложной конфигурации и с размерами, превосходящими ширину русла (длина и ширина таких массивов может достигать 15-20 и более км), создавая при этом уже более высокий уровень разветвленности. Островные массивы, по сути, являются конечной стадией существования островов, образуя сложные пойменно-русловые разветвления.



Б

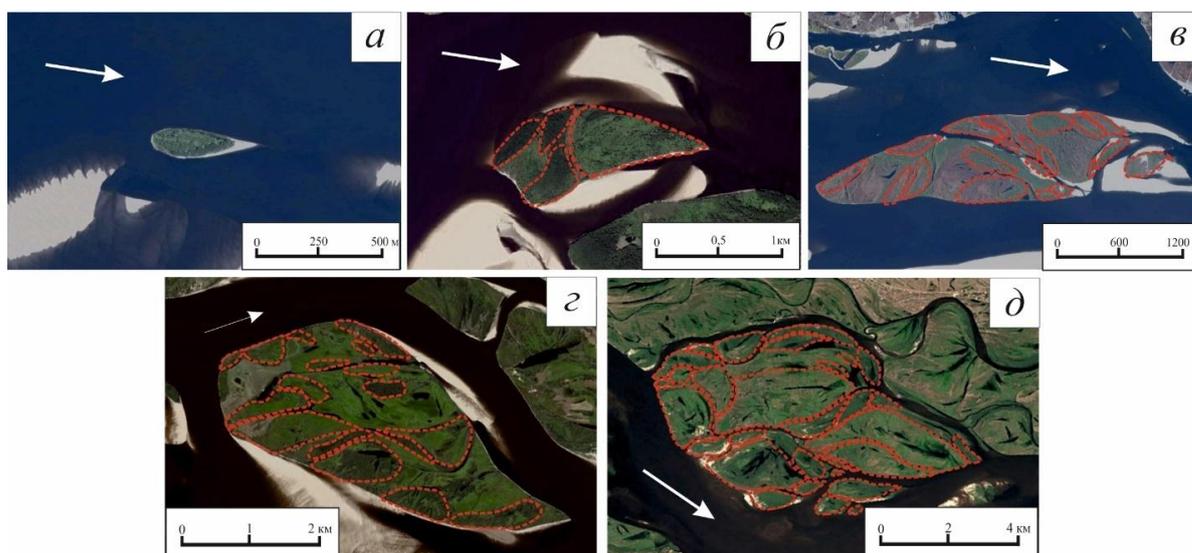


Рисунок 5 – Острова разных типов на верхней Оби (А) средней Лене (Б) А: а – элементарный остров, Акутихинские разветвления; б – малый остров, Талицкое разветвление; в – средний остров, ниже п. Быстрый Исток; г – большой остров, Солдатовское разветвление; д – островной массив, напротив устья р. Ануя. Б: а – элементарный остров, Якутский «разбой»; б – малый остров, «разбой» Рассолода; в – средний остров (о. Пономарев в Якутском «разбое»); г – большой остров, Жатайско–Кангаласские разветвления; д – островной массив, ниже мыса Кангаласский Камень.

В ходе гидролого-морфологического анализа получены зависимости для разветвлений разного типа, в частности морфометрических характеристик создающих их островов – длины L_0 и ширины B_0 от устойчивости русла (L и K_c). Показано, что с возрастанием устойчивости происходит упрощение морфологии разветвлений, сокращение количества рукавов, уменьшение степени разветвленности русла n_0/x . Например, на верхней Оби на участках с параллельно-рукавными разветвлениями она составляет в среднем $n_0/x > 4$, при максимальном значении 6,6, постепенно понижаясь вниз по течению до $n_0/x = 3$ (рис. 6,А). Непосредственно перед слиянием с р. Чарышом более 80 % общего расхода воды сосредотачивается в одном из рукавов, степень разветвленности сокращается до $n_0/x < 1$. Зависимость степени разветвленности русла n_0/x на Лене (рис. 6,Б) аналогична таковой на Оби: наименее устойчивому параллельно-рукавному руслу свойственна наибольшая разветвленность ($n_0/x = 3-4$), на участках с чередующимися односторонними разветвлениями при $K_c > 10-11$ она минимальна ($n_0/x \leq 1$). Сложность обобщения и сопоставления полученных на обеих реках гидролого-морфологических зависимостей обусловлена большими размерами средней Лены по отношению к верхней Оби (по средней водности – в 6,15 раза, по ширине русла – в 2,5 раза) в соответствии с пропорциональной связью ширины русла реки и ее водности – $b_p = f(Q)$. Соответственно, показатель устойчивости русла Н.И. Маккавеева $K_c = d_{cp}/I^*b_p$, включающий также ширину русла, в свою очередь зависит от размеров реки. Если принять, что для нормальной (каплевидной) формы острова характерно соотношение $B_0 = 0,4b_p$, где b_p – ширина русла

или рукава перед узлом разветвления (по В.В. Иванову [1989]) и ввести поправочный коэффициент на размер реки $\alpha = 2,5$ (разница в ширине русла сравниваемых рек) в показатель устойчивости, то увеличивая на него K_c для верхней Оби и приводя обе реки к единой шкале значений, с учетом введенных поправок можно получить единую общую зависимость (рис. 6,В).

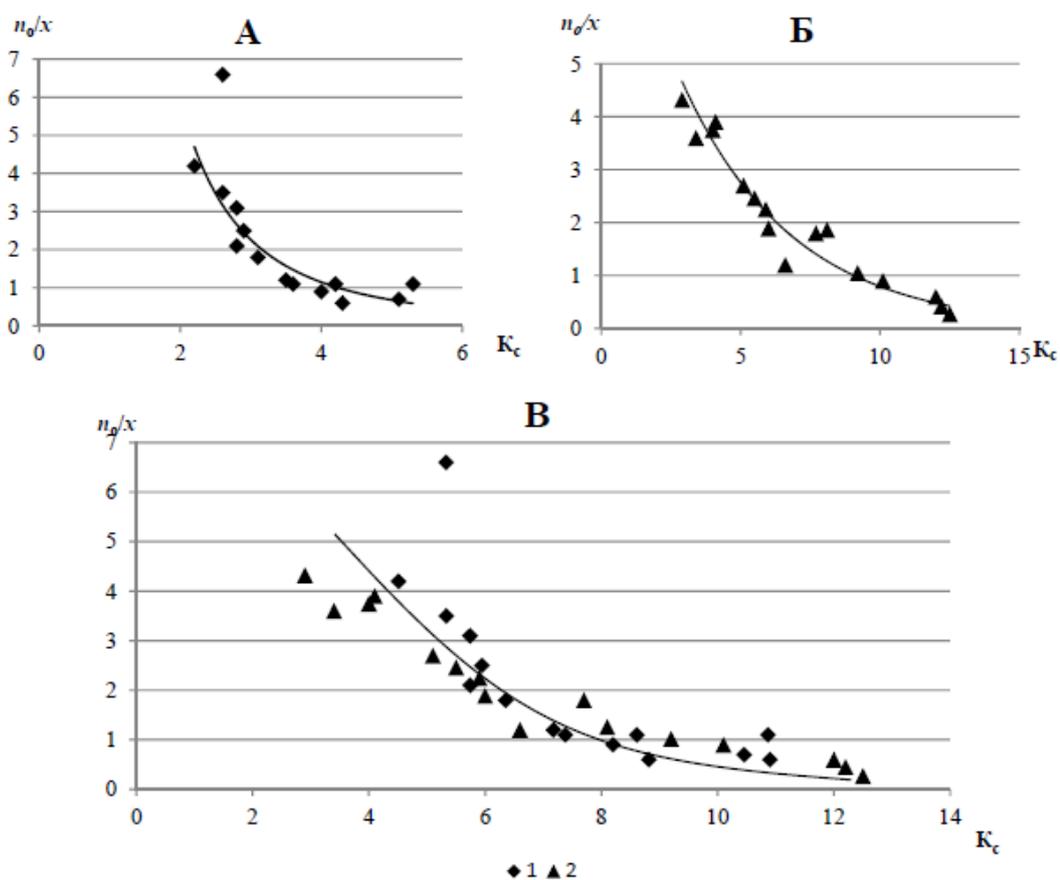


Рисунок 6 – Зависимость степени разветвленности русла n_o/x от его устойчивости (K_c): А – верхняя Обь, Б – средняя Лена, В – объединенный график с учетом поправочного коэффициента $\alpha = 2,5$ на размер рек (1 – верхняя Обь, αK_c ; 2 – средняя Лена, K_c).

Установлено, что линейные размеры островов зависят, как и степень разветвленности русла n_o/x , от его устойчивости и типа разветвлений. На графиках (рис. 7) они дифференцируются по типам русла. Наименьшие размеры имеют острова в параллельно-рукавном русле: соответствующие им точки для обеих рек занимают нижние левые части графиков, хотя абсолютные размеры островов отличаются почти в 3 раза. В основном это элементарные и малые острова каплевидной и веретенообразной формы (при этом не учитываются большие острова и островные массивы, расположенные в периферических частях русла, которые уже не определяют морфологию русла и его деформации), у которых показатель L_o/B_o находится в пределах 3,7–5,1 на верхней Оби и

2,04–4,6 на средней Лене, в том числе у редко встречающихся в русле этого типа больших островов (о. Пономарев в Якутском «разбое» на р. Лене, острова Фоминского узла разветвления на р. Оби). На участках русла с большими значениями показателей L и K_c (при том же типе русла по его устойчивости) на верхней Оби в односторонних и чередующихся односторонних разветвлениях, большие острова также характеризуются соотношением $L_o/B_o = 2,4–4,0$. На средней Лене последовательно на графике выделяются острова в параллельно-рукавных, сложных одиночных и односторонних разветвлениях, имеющие большие размеры островов в чередующихся односторонних разветвлениях, образуя единую зависимость. Эти соотношения аппроксимируются уравнением вида $y=kx+b$ ($B_o=L_o*x+b$) в котором коэффициент k возрастает от параллельно-рукавных к односторонним и сложным одиночным (на Лене) разветвлениям. Для параллельно-рукавных разветвлений, в которых преобладают элементарные и малые острова, коэффициент корреляции наибольший (0,92); при этом чем больше размеры островов, тем больше разброс точек на графиках и меньше коэффициент корреляции (0,77).

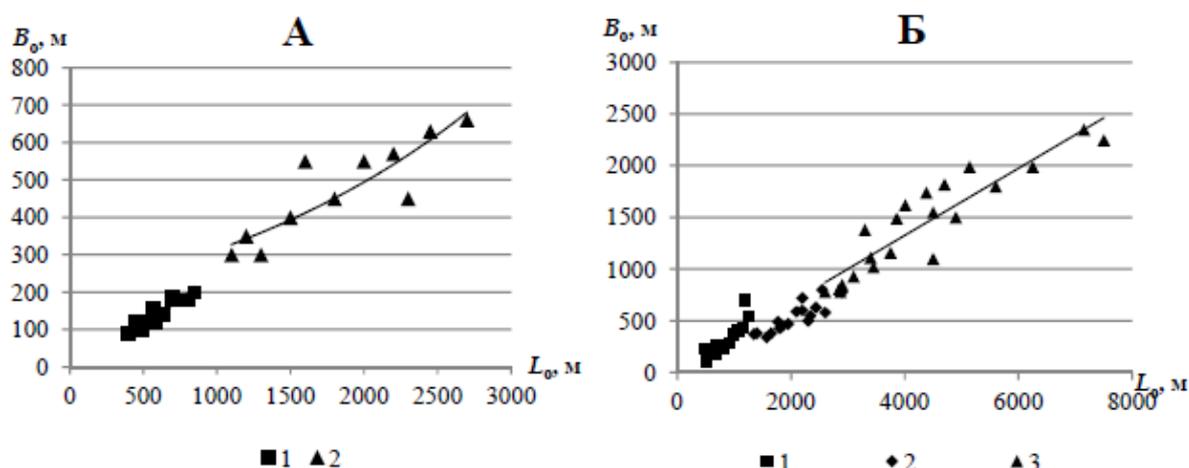


Рисунок 7 – Соотношение морфометрических параметров островов (L_o , B_o) при разных типах разветвлений на верхней Оби (А: 1 – параллельно-рукавные; 2 – односторонние и чередующиеся односторонние), и средней Лене (Б: 1 – параллельно-рукавные; 2 – односторонние и одиночные; 3 – чередующиеся односторонние).

На нижней Лене (рис.8) в уравнении вида $y=kx+b$, коэффициент k возрастает в зависимости от положения острова в русле: он максимален для прибрежных островов и островных массивов в периферических частях русла, и достигает своего минимума (с коэффициентом корреляции 0,82) для островов 2-го порядка в основных рукавах (табл. 1).

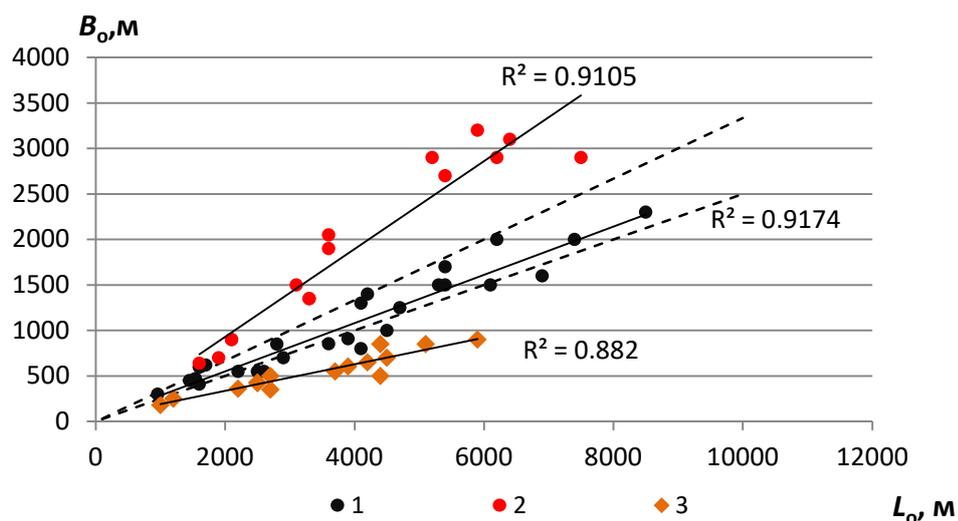


Рисунок 8 – Соотношение морфометрических параметров островов (L_o/B_o) параллельно-рукавных разветвлений нижней Лены. (1 – острова в центральной части русла; 2 – острова в периферийных частях русла; 3 – острова в разветвлениях 2-го порядка). Пунктирными линиями показаны верхняя ($L_o/B_o = 3$) и нижняя ($L_o/B_o = 4$) границы оптимального соотношения.

Таблица 1 – Уравнения связи между шириной B_o и длиной L_o островов на средней и нижней Лене при разных морфодинамических типах русла.

Морфодинамический тип разветвлений	средняя Лена	Коэфф. R^2	нижняя Лена	Коэфф. R^2
Одиночные	$B_o = 0,382L_o + 190,1$	0,88	$B_o = 0,18L_o + 34,7$	0,81
Параллельно-рукавные в т.ч.: — Острова в центральной части русла	$B_o = 0,157L_o + 45$	0,92	$B_o = 0,265L_o + 22,7$	0,91
— Острова в периферийной части русла	$B_o = 0,3L_o + 244,5$	0,79	$B_o = 0,48L_o - 33,9$	0,92
— Острова в разветвлениях 2-го порядка	$B_o = 0,257L_o + 75,5$	0,85	$B_o = 0,15L_o + 44$	0,89
Сопряженные	$B_o = 0,266L_o + 68,3$	0,83	—	—
Прибрежные: Односторонние	$B_o = 0,302L_o + 204,6$	0,66	—	—
Чередующиеся односторонние	$B_o = 0,52L_o - 604,2$	0,83	—	—
Сложные одиночные				
Пойменно-русловые	—	—	$B_o = 0,193L_o + 425,9$	0,78

Отдельно рассмотрены особенности деформации островов, причины их регрессивного или трансгрессивного смещения, трансформации морфодинамических типов русла под влиянием естественных факторов. Трансгрессивное смещение острова показано на примере Якутского узла, где русловые переформирования сопровождаются размывом оголовка о. Пономарева со средними скоростями 10-20 м/год. На фоне размыва ниже по течению у его ухвостья формируется зона аккумуляции, где происходит рост косы (рис. 9). Одновременно идет развитие плесовой лоцины в левом рукаве – Адамовской протоке и активизация размывов левого берега в ее нижней части, где был смыт прибрежный о. Софон (к 2020 году он перестал существовать), создававший разветвление 2-го порядка.

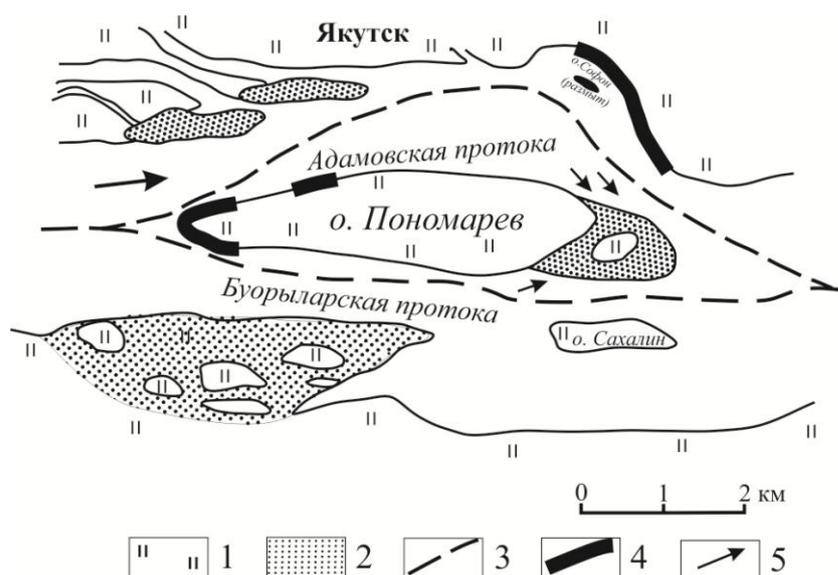


Рисунок 9 – Схема русловых деформаций в Якутском узле разветвления и положение зон размыва. 1 – пойма; 2 – прирусловые отмели, зоны аккумуляции наносов; 3 – положение стрелневых зон потока; 4 – положение зон размыва; 5 – направление течения.

Ниже слияния рукавов – правой (Буорыларской) и левой (Адамовской) протоков – поток прижимается к правому берегу, вызывая его размыв. В течение 56 лет (с 1962 по 2018) скорости отступления берега составляли 20-25 м в год. В левобережной части русла (слева от о. Жатайский и в его ухвостье) возникла область аккумуляции наносов, где только за период с 2002 г. прирусловые отмели в ухвостьях островов сместились на 2 км.

В пятой главе на основе проведенного гидролого-морфологического и ретроспективного руслового анализа участков русел Оби и Лены изложены основные закономерности морфологии и динамики островов в соответствии с приведенной их классификацией, приводятся подробные морфометрические характеристики для каждой стадии эволюции островов (табл.2), рассматриваются особенности их развития в зависимости от положения в русле. Каждая последующая стадия эволюции,

соответствующая новому типу, характеризуется увеличением линейных размеров как на Оби, так и на Лене, обуславливая изменения и в степени разветвленности русла. Вне зависимости от размеров русла, абсолютные значения n_o/x уменьшаются по мере увеличения размеров острова.

Таблица 2 – Морфометрические характеристики островов и их классификация (верхняя Обь, средняя и нижняя Лена).

Типы островов	Река	Параметры островов (средние значения)			n_o/x	
		Длина L_o , м	Ширина B_o , м	L_o/B_o		
Элементарные*	верхняя Обь	110-800	35-200	3,75-5,1	$B_o = 0,19L_o - 0,5$	1,2-6,6
	средняя Лена	300-2100	120-900	2,1-4,9	$B_o = 0,257 L_o + 75,5$	2,8-4,6
	нижняя Лена				$B_o = 0,16 L_o + 45$	
Малые	верхняя Обь	150-1000	80-360	3,1-4,9	$B_o = 0,22 L_o + 33,5$	1,3-3,9
	Лена	450-3200	300-1450	3,4-4,6	$B_o = 0,382 L_o + 190,1$	1,4-4,0
Средние	верхняя Обь	500-1500	150-650	2,3-4,0	$B_o = 0,31 L_o + 81,7$	2,4-3,2
	Лена	1450-6200	400-1900	3,2-5,7	$B_o = 0,302 L_o + 204,6$	0,9-3,0
Большие	верхняя Обь	700-4800	250-2100	2,2-4,4	$B_o = 0,24 L_o + 122,1$	0,5-2,7
	Лена	1200-8500	550-3300	2,2-3,9	$B_o = 0,266 L_o + 68,3$	1,5-2,2
Островные массивы	верхняя Обь	1300-6950	600-1950	2,4-3,5	$B_o = 0,32 L_o + 85,9$	1,0-1,3
	Лена	2600-9800	800-2900	2,2-3,3 (min – 1,8)	$B_o = 0,52 L_o - 604,2$	0,3-1,0

* – Параметры элементарных островов различаются для участков средней и нижней Лены.

Благодаря выявленным закономерностям переформирований каждого из типов разветвлений можно определить условия и направление динамики составляющих их островов. Установлено, что при всех морфодинамических типах русла динамика острова зависит от его положения в русле – в центральной (активной) или периферической его частях, в основных или второстепенных рукавах, рукавах разных размеров и водности и т.д.

Малые, средние (иногда большие) острова располагаясь в центральной части русла формируют одиночные (в т.ч. сложные одиночные) односторонние разветвления. Они имеют гидравлически оптимальную форму, подвержены трансгрессивному смещению и, в случае объединения с другими островами, увеличиваются в размерах, способствуя стабилизации разветвления. В определенных условиях (существенное различие в

водности основных рукавов) происходит рост островов в ширину и, соответственно, приобретение более изометричной формы.

Трансгрессивным смещением и небольшими размерами чаще всего характеризуются острова в разветвлениях 2-го порядка, которые редко достигают размеров средних, а тем более больших. Усложняя морфологию разветвлений и повышая степень разветвленности, они обладают бóльшей длиной по сравнению с островами, формирующими основное разветвление; коэффициент формы L_0/B_0 зачастую $> 4,5$, достигая максимальных значений 6,5 (о. Малый в разветвлении Сахам). В случае если острова формируют само разветвление или находятся в основном по водности рукаве, разделяя его на равнозначные протоки и образуя разветвление второго порядка, они размываются с оголовков; в противном случае они быстро объединяются друг с другом, либо разделяются небольшими по водности межостровными протоками причем, находясь в периферической зоне русла, где преобладает аккумуляция наносов, они, как правило, растут регрессивно, при этом их количество возрастает.

Формирование разветвлений 2-го порядка в параллельно-рукавных руслах может приводить при направленном перераспределении стока и преимущественному развитию одного из рукавов к перестройке русла в целом при сохранении его типа; острова 2-го порядка начинают выступать в роли основных в рукаве, в который переместился сток реки, разделяя уже этот рукав на ветви течения. Второй (зачастую изначально менее водный) рукав бывшего разветвления оказывается в периферической зоне русла и уже не определяет русловой режим реки. В нем происходит местная аккумуляция наносов, острова растут, объединяются, превращаются в островные массивы и со временем входят в состав поймы при отмирании отделяющих от нее рукавов и протоков. Такая ситуация может произойти в Якутском разветвлении у о. Пономарева, где в случае обмеления левого рукава – Адамовской протоки и перемещения стока в правый – Буорыларскую протоку, в последней о. Сахалин и безымянные острова составят основу нового параллельно-рукавного разветвления. Подобное произошло в конце 1990-х – начале 2000-х годов в Усть-Ануйском разветвлении на верхней Оби.

Таким образом, по мере усложнения структуры разветвлений разнообразие типов образующих их островов возрастает в направлении от относительно простых одиночных и односторонних к сложным сопряженным и параллельно-рукавным, часто осложненным разветвлениями 2-го порядка. Особенности динамики островов находятся в более сложной связи с морфодинамическими типами и определяются в основном положением островов относительно стрежневой (активной) зоны или по периферии потока и местными условиями (поступление наносов, конуса выноса притоков, мысы коренных берегов).

Соотношение L_0/B_0 изменяется в зависимости от размеров и положения островов от меньшего к большему в направлении: *островные массивы* → *большие острова в периферической части русла* → *большие острова в активной части русла* → *малые и средние острова* → *элементарные острова в основном русле* → *элементарные острова в разветвлениях 2-го порядка*.

В заключении сформулированы основные **выводы**:

1. Сравнительный анализ разветвлений и образующих их островов в неустойчивых и слабоустойчивых руслах, выполненный с учетом основных факторов и условий формирования русел верхней Оби, средней и нижней Лены, показал, что при существенном различии размеров рек формируются русла одних и тех же морфодинамических типов, но отличающихся по морфометрическим характеристикам.

2. Определены основные морфодинамические типы русла для исследуемых участков рек; разветвленное русло абсолютно преобладает на верхней Оби, средней и нижней Лене, где оно представлено практически всеми известными типами русловых (островных) разветвлений: от простых одиночных до наиболее сложных – параллельно-рукавных, на долю которых приходится бóльшая часть длины обеих участков (до 50% от суммарной длины всех разветвлений). На средней и нижней Лене встречаются короткие участки относительно прямолинейного неразветвленного русла, обусловленные местным геолого-геоморфологическим строением долины реки.

3. На основе полученных гидролого-морфологических зависимостей установлено, что степень разветвленности русла n_0/x зависит от суммарной ширины русла и его водоносности, причем на верхней Оби по мере удаления от слияния Бии и Катунь (вниз по течению) показатель n_0/x уменьшается, тогда как на средней и нижней Лене ширина русла, количество островов и n_0/x возрастают по мере роста водности реки (более чем в 2 раза в нижней части участка). Последнее связано с преобладанием самых сложных параллельно-рукавных разветвлений, которые по мере увеличения стока усложняют свое морфологическое строение.

4. Анализ линейных размеров, очертаний в плане, количества и положения островов в русле, а также выявленные особенности их динамики, позволили получить следующую последовательность стадий развития островов: *осерёдок (как основа формирования острова)* → *элементарный остров* → *малый остров* → *средний остров* → *большой остров* → *островной массив*. Последние являются конечной стадией в эволюционном ряду русловых (островных) разветвлений и в условиях прохождения руслоформирующих расходов при затопленной пойме могут создавать более сложные пойменно-русловые разветвления.

5. Как на Оби, так и на Лене морфометрические параметры островов, образующих разветвления, их расположение в русле и общее количество определяются устойчивостью русла и морфодинамическим типом русла. Зависимость между показателями устойчивости русла и морфометрическими параметрами островов характерна для всех типов разветвлений и их структурных уровней – от зарастающих пионерной растительностью осередков до больших островов и крупных островных массивов.

6. Линейные размеры островов и их форма в плане зависят также от их положения в русле (в активной или периферической частях, образующих разветвления русла или разветвления 2-го порядка, в основных или второстепенных по водности рукавах). Параллельно-рукавным разветвлениям свойственно формирование элементарных и малых островов; в руслах других типов – их объединение и формирование средних и больших островов, а в зонах устойчивой аккумуляции наносов в периферийных частях русла и в условиях большей устойчивости – островных массивов. Степень устойчивости русла, его морфодинамический тип, стадии развития островов и их размеры определяют форму островов. Наименьшими значениями соотношения длины и ширины L_o/B_o обладают большие острова в периферических частях русла, вне зоны активных переформирований. Каплевидные острова с оптимальным значением $L_o/B_o = 3-4$, формируются в активных частях русла, имея сравнительно небольшие размеры. Разброс величин L_o/B_o по длине реки отражает общую смену морфологической сложности русла, разнообразие его типов и стадий развития островов. Установлено, что при одинаковом морфодинамическом типе русла, несмотря на различия в линейных размерах, сохраняется характерный для данного типа русла коэффициент формы (исключение составляют элементарные острова на нижней Лене, отличаясь от аналогичных в среднем течении более вытянутой формой).

7. Зависимости вида $L_o/B_o = f(L, K_c)$ и $n_o/x = f(L, K_c)$ при введении поправочного коэффициента на размер реки и ее водность (при условии, что $b_p \sim Q$) имеют общий вид, различаясь по типам разветвления и разной устойчивости русла.

8. По мере усложнения структуры разветвлений возрастает разнообразие типов образующих их островов в направлении от относительно простых одиночных и односторонних к сложным сопряженным и параллельно-рукавным, часто осложненным разветвлениями 2-го порядка. Соотношение L_o/B_o изменяется при этом в зависимости от положения островов и их типа в направлении: *островные массивы* → *большие острова в периферической части русла* → *большие острова в активной части русла* → *малые и средние острова в активной части русла* → *элементарные острова в основном русле* → *элементарные острова в разветвлениях 2-го порядка*.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, включенных в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1. **Голубцов Г.Б.,** Чалов Р.С. Острова верхней Оби: морфометрическая характеристика, эволюция и динамика // Геоморфология // 2019. № 1. С. 80 – 90.
2. **Голубцов Г.Б.,** Чалов Р.С. Сравнительный гидролого-морфологический анализ островов сложноразветвленных русел верхней Оби и средней Лены // Вест. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30. Вып. 2. С. 164 – 174.
3. Чалов Р.С., Беркович К.М., Рулева С.Н., Завадский А.С., Головлев П.П., **Голубцов Г.Б.** Формирование, эволюция и временная трансформация параллельно-рукавных разветвлений речных русел // Географический вестник. 2020, № 4 (55). С. 110 – 125.
4. Чалов Р.С., Чалова А.С., **Голубцов Г.Б.** О терминологии и классификации разветвлений русел равнинных рек // Геоморфология. 2021. № 3 . С. 48 – 63.

Публикации в других журналах и сборниках:

5. Чалов Р.С., Завадский А.С., Ботавин Д.В., Крыленко И.Н., Михайлова Н.М., Павлушкин С.В., Куракова А.А., **Голубцов Г.Б.,** Семаков В.А. Колпашевские перекаты в Канеровском разветвлении р. Обь: деформации, прогнозные оценки и регулирование русла // Речной транспорт (XXI век). 2022. №2. С. 38 – 43.
6. **Голубцов Г.Б.,** Камышев А.А., Сахаров А.И., Чалов Р.С. Переформирования русла и управление русловыми процессами на затруднительных для судоходства перекатных участках сложноразветвленного русла нижней Лены // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей. СПб.; Изд-во ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. 2021. С. 79 – 96.
7. Завадский А.С., Чалов Р.С., Агафонова С.А., Ботавин Д.В., **Голубцов Г.Б.,** Крыленко И.Н., Куракова А.А., Михайлова Н.М., Семаков В.А., Сурков В.В. Колпашевская излучина и Канеровское разветвление р. Оби - гидрология, морфодинамика и пути решения воднотранспортных проблем // Маккавеевские чтения – 2021. М.: Географ. ф-т МГУ, 2022. С. 18 – 27.
8. **Голубцов Г.Б.** Гидролого-морфологическая характеристика островов разветвленных русел верхней Оби и средней Лены // Маккавеевские чтения – 2019. М.: Географ. ф-т МГУ, 2020. С. 21 – 32.
9. **Голубцов Г.Б.** Морфология русла и рассредоточение стока среди островов сложных параллельно-рукавных разветвлений нижней Лены и их многолетняя изменчивость // Геосфера. Современные проблемы естественных наук: сборник статей, посвященных профессиональным праздникам факультета наук о Земле и туризма. Уфа: РИЦ БашГУ, 2022. С. 166 – 171.

Тезисы докладов на конференциях:

10. **Голубцов Г.Б.** Морфометрия и динамика островов на верхней Оби // Сборник статей по материалам XII семинара молодых учёных вузов, объединяемых Межвузовским советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. (г. Чебоксары, 28 мая – 1 июня 2018 г). М.:«Компания ПринтКоВ», 2019. С. 24 – 29.
11. **Голубцов Г.Б.** Гидролого-морфологическая характеристика островов разветвленных русел верхней Оби и средней Лены // Тридцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Курск, 6–8 октября 2020 г.): доклады и краткие сообщения. Курск, 2020. С. 84 – 85.
12. **Голубцов Г.Б.** Сравнительный гидролого-морфологический анализ островов верхней Оби и средней Лены // Тридцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Ижевск, 11–15 октября 2021 г.): Доклады и краткие сообщения. «Удмуртский университет» Ижевск, 2021 С. 81 – 83.
13. **Голубцов Г.Б.** гидролого-морфологический анализ сложноразветвленного русла нижней Лены от устья Вилюя до переката Сахам // Тридцать седьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Рязань, 3–7 октября 2022 г.): Доклады и сообщения. М.: МГУ, 2022. С. 81 – 83.

<https://istina.msu.ru/profile/ggolubcov/>