

УДК 551.435.1

## ГИДРОЛОГИЯ И МОРФОЛОГИЯ УЗЛОВ СЛИЯНИЯ РЕК С РАЗДВОЕННЫМ РУСЛОМ<sup>1</sup>

© 2025 г. Р. С. Чалов, Д. И. Школьный\*

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, географический факультет,  
Москва, 119991 Россия**\*e-mail: danila.hydro@yandex.ru*

Поступила в редакцию 06.02.2024 г.

После доработки 16.04.2024 г.

Принята к публикации 28.10.2024 г.

Рассмотрены узлы слияния рек с раздвоенным руслом — среди различных типов слияний наиболее сложные как морфологически, так и с точки зрения гидрологического режима и распределения стока по протокам. Подобные узлы — относительно редкое явление, характерны для слияний, где одна или обе реки относятся к крупным (или крупнейшим), однако могут возникать и на впадениях небольших притоков при определенном сочетании условий. На основе литературного анализа, полевых материалов и спутниковых снимков дается классификация узлов слияния рек с раздвоенным руслом с выделением шести различных типов исходя из их конфигурации. Для каждого типа проведен региональный анализ с примерами как на территории России, так и мире. На примере слияний Оби и Кети, Анадыря и Майна рассмотрены условия возникновения реверсивных течений в отдельных протоках узлов слияния (на основе данных наблюдений за уровнем воды и мутности воды в протоках, определенной по спутниковым снимкам).

**Ключевые слова:** раздвоенное русло, разветвленное русло, узел слияния, распределение расходов воды, реверсивное течение.

**DOI:** 10.31857/S0321059625020028 **EDN:** UCTAXJ

### ВВЕДЕНИЕ

Слияние рек, близких или различающихся в большей или меньшей степени по водоносности и гидрологическому режиму, взаимодействие их потоков обуславливают многообразие форм проявления русловых процессов, связанных с переменным подпором, образованием разветвлений “дельтового” типа или их отсутствием (бездельтовых), неодинаковыми условиями формирования (широкопойменные или врезанные русла). При определении водохозяйственного и водотранспортного использования рек узлы их слияния всегда привлекали внимание исследователей [1–2, 4–5, 7–9, 12, 14, 17–18], что привело к созданию общей теории русловых процессов в узлах слияния рек и разработке их подробной морфодинамической классификации [10, 13], обоснованию принципиальных схем

переформирований и мероприятий по регулированию русел. Однако на этом фоне наименее изученными оказались устья притоков больших и крупнейших рек с раздвоенным руслом и отчасти пойменно-русловыми разветвлениями. За редким исключением (Амур — Уссури [18], Обь — Томь [11], по которым даны подробный анализ слияния и прогнозные оценки переформирований), для большинства таких узлов лишь констатируется сам факт слияния притока с одним из рукавов главной реки, причем не всегда достоверно трактуется его режим из-за отсутствия гидропостов и регулярных наблюдений. Действительно, слияние притока с главной рекой, имеющей раздвоенное русло, сопровождается сложным рассредоточением стока, его перераспределением в разные фазы водного режима на обеих реках, периодическим развитием рукавов в “дельтовых” разветвлениях и другими русловыми деформациями, связанными с постоянно меняющимися условиями взаимодействия потоков сливающихся рек и их рукавов.

Раздвоенные русла — наиболее сложные структурные уровни среди разветвленных ру-

<sup>1</sup> Работа выполнена по плану НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. М.В. Ломоносова (исходные данные, общая характеристика) при финансовой поддержке РНФ (проект 23-17-00065) (натурные исследования на Анадыре, русловой и гидрологический анализ).

сел, характерные для крупных рек на участках с относительно небольшими уклонами [16]. По зарубежным классификациям, раздвоенные русла (“split channel”) – частные случаи крупномасштабной пойменной многорукавности (“anastomosing channel”), для которой характерно большое количество рукавов и протоков в пределах широкой поймы [21]. Среди разветвлений этого типа выделяются таковые на участках соединения долин больших и крупнейших рек, основные рукава которых создают сложную структуру русловой сети [20]. При большом стоке наносов, особенно в условиях сложной геологической истории речных долин (обычно в голоцене) и направленной аккумуляции наносов на реках с широкопойменным руслом, формируются уникальные разветвленные системы [25], относимые, по классификации МГУ, к раздвоенным руслам.

Результаты исследований в последние годы на реках России, имеющих раздвоенное русло, в том числе при слиянии их с притоками разного порядка, позволили существенно расширить представления о гидрологическом и русловом режиме узлов слияния рек, уточнить соответствующий раздел их морфодинамической классификации [13] и охарактеризовать гидрологический и русловый режим каждого их типа.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу статьи положены данные, полученные в ходе экспедиционных исследований на больших реках с раздвоенным руслом, в том числе на участках слияния их с притоками – Оби с Томью, Кетью, Иртышом, Северной Сосьвой; Амура с Уссури; Анадыря с Майном. В табл. 1 приведены основные гидрологические и морфометрические характеристики русел рассматриваемых в статье сливающихся рек – среднегодовой и максимальный расходы воды, ширина поймы и ее соотношение с шириной русла. Кроме перечисленных в табл. 1 притоков, которые определяют специфику формирования рукавов раздвоенных русел главных рек и сами зависят от их водного и руслового режимов, объектами исследований были притоки с устьями в одном из рукавов, их влияние проявляется только в увеличении водности этих рукавов.

Экспедиционные исследования в узлах слияния рек включали в себя измерения расходов воды в разные фазы водного режима в рукавах раздвоенных русел с использованием доплеровских измерителей течения – в том числе в тех из них, в которых в зависимости от соотношения уровней и величин расхода воды на сливающихся реках возникали разнонаправленные течения. Поскольку натурными измерениями охватить все фазы режима на сливающихся реках технически затруднительно, для оценки соотношения стока главной реки и притока по рукавам раздвоенного русла использовались космические снимки, позволившие по оптическим характеристикам воды, отражающим различия в мутности потоков, определить преобладание в том или ином рукаве вод притока или главной реки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Классификация узлов слияния рек с раздвоенным руслом*

Узлы слияния рек, в которых главная река или приток имеют раздвоенное русло, можно разделить на следующие типы (рис. 1):

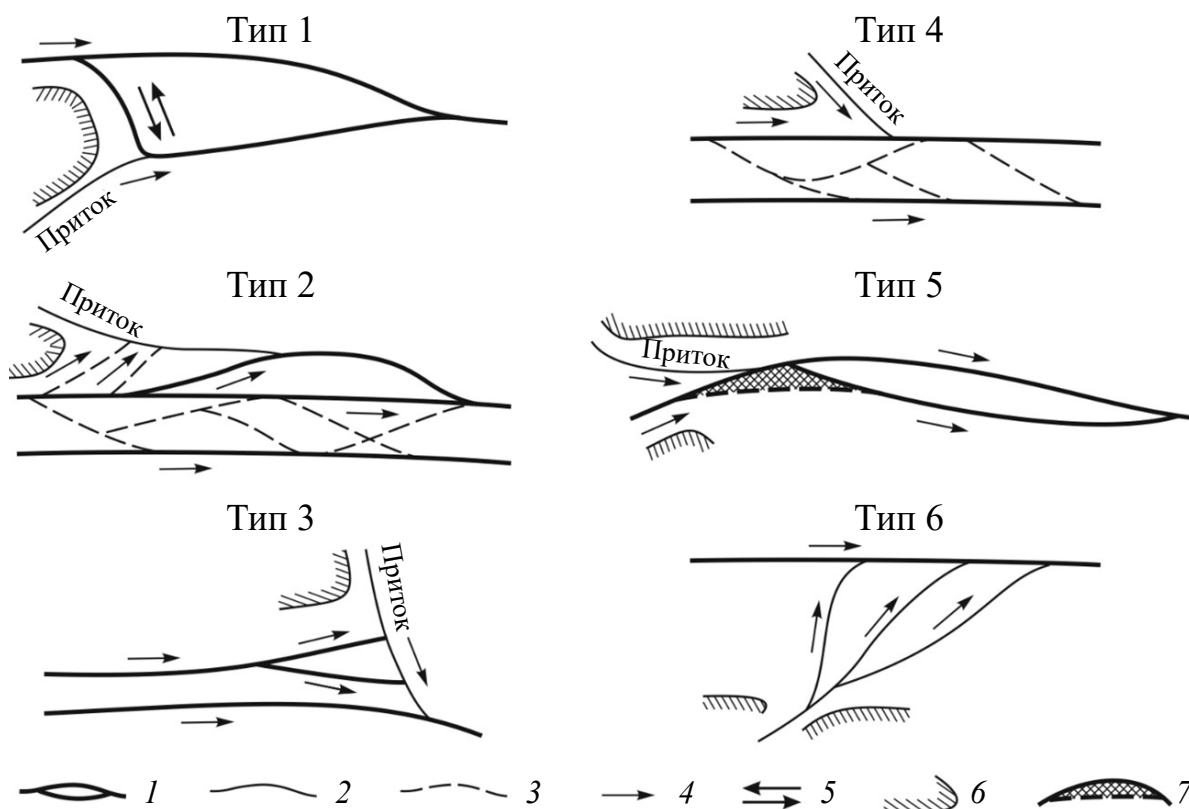
1) главная река перед слиянием с притоком разделяется на несколько рукавов, из которых один образует короткое слияние, и по нему, в зависимости от соотношения уровней и расходов воды на сливающихся реках, течение направляется из главной реки в приток (он находится в подпоре от главной реки) или из притока в главную реку (находящуюся в подпоре от притока), второй рукав образует длинное слияние с притоком, и его сток распределяется между обоими рукавами (безподпорные условия), или его водность возрастает за счет поступления воды из притока в рукав, образующий короткое слияние;

2) главная река к устью притока уже имеет раздвоенное русло, и при выходе притока в ее долину (пойму) по пойменным протокам осуществляется частичное перемещение стока из главной реки. Водность притока возрастает, после чего происходит, как правило, бездельтовое слияние притока с одним из рукавов раздвоенного русла; количество пойменных протоков

**Таблица 1.** Гидрологические и морфометрические характеристики рек в узлах слияния в условиях развития на главной реке раздвоенных русел (жирный шрифт — главная река, под ним светлым шрифтом — притоки)

| Главная река, притоки | Гидрологический пост | Расходы воды*       |                   | Количество рукавов раздвоенного русла главной реки | Пойма главной реки         |                             |
|-----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                       |                      | $Q_{\text{ср год}}$ | $Q_{\text{макс}}$ |                                                    | ширина $B_{\text{п}}$ , км | $B_{\text{п}}/b_{\text{р}}$ |
| Обь                   | Дубровино            | 1730                | 9000              |                                                    |                            | <9                          |
| Томь                  | Томск                | 1083                | 11 000            | 2                                                  | 5                          | 7                           |
| Обь                   | Колпашево            | 3930                | 29 800            |                                                    |                            | >18                         |
| Кеть                  | Родионовка           | 485                 | 3260              | 2                                                  | 30                         | 60                          |
| Обь                   | Белогорье            | 10 200              | 51 800            |                                                    |                            | >14                         |
| Иртыш                 | Ханты-Мансийск       | 2810                | 10 000            | 3                                                  | 30                         | 35                          |
| Северная Сосьва       | Игрим                | 731                 | 5080              | 5                                                  | 60                         | 75                          |
| Анадырь               | Новый Еропол         | 499                 | 9610              |                                                    |                            | >25                         |
| Майн                  | Ваеги                | 177                 | 3580              | 8                                                  | 25                         | 60                          |
| Амур                  | Хабаровск            | 8210                | 46 400            |                                                    |                            | >7                          |
| Уссури                | Оценочно             | 1620                | 10 500            | 2                                                  | 20                         | 17                          |
| Инди́гирка            | Воронцово            | 1640                | 11 700            |                                                    |                            | >30                         |
| Алла́иха              | Оценочно             | 40                  | -                 | 2                                                  | 45                         | 150                         |

\* Расходы воды приведены по базам данных GRDC, АИС ГМВО, изданиям ГВК и различным литературным источникам.



**Рис. 1.** Типы слияния притоков и главной реки с раздвоенным руслом: 1 — рукава раздвоенного русла главной реки; 2 — русла притока; 3 — прочие протоки на участке слияния; 4 — направление течения; 5 — участок формирования реверсивного течения; 6 — коренные берега; 7 — положение старого и нового рукавов при размыве поймы.

между притоком и рукавом главного русла в зависимости от местных условий минимально (одна-две) или до десятка и более, вследствие чего уже к слиянию с рукавом главной реки приток, по существу, превращается в новый, достаточно полноводный рукав;

3) главная река подходит к узлу слияния с притоком разделенной на два-три рукава, которые последовательно впадают в приток, увеличивая его водность; окончательное слияние притока с главной рекой — это уже слияние с наиболее полноводным рукавом, для которого характерно постоянное при высоких уровнях подпорное состояние от притока;

4) слияние притока, сравнительно небольшого по отношению к главной реке, с рукавом ее раздвоенного русла (подобие бездельтовым узлам слияния рек);

5) при выходе малой реки в долину большой реки и ее протекание на протяжении иногда нескольких десятков километров в тыловой части поймы главной реки в ходе русловых деформаций главная река размывает пойменный перешеек и ее поток оказывается частично “перехваченным” руслом малой реки, которая в нижней части превращается в рукав раздвоенного русла;

6) раздвоенное русло иногда формируется на притоках большой реки, которые, попадая в пределы широкой поймы, образуют два-три рукава, самостоятельно впадающие в нее намного ниже по течению от створа выхода в долину главной реки.

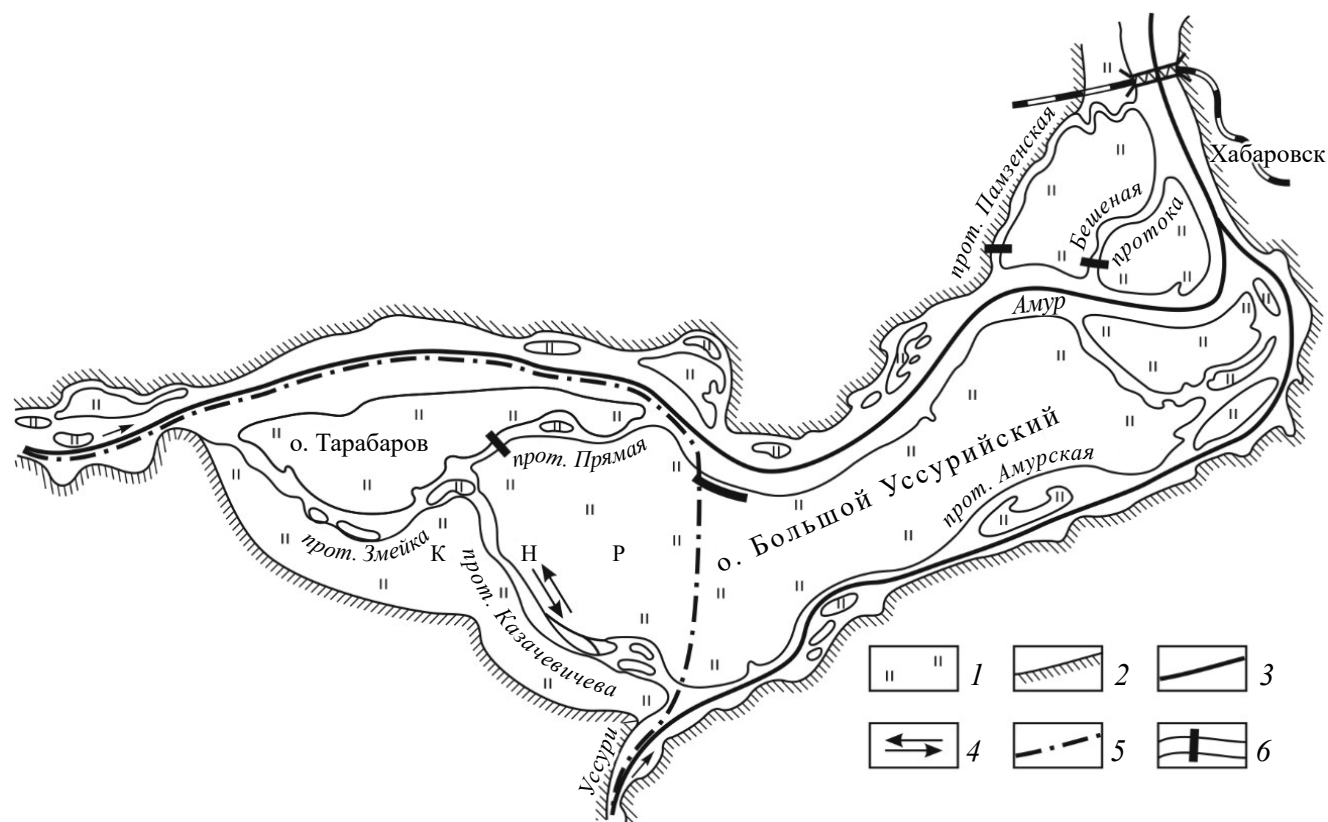
#### *Особенности гидрологического режима в узлах слияния рек первого типа*

К первому типу относятся узлы слияния следующих рек, имеющих раздвоенное русло, с притоками: Амура с Уссури, Оби с Кетью, Анадыря с Майном. Характерная особенность этого типа слияний — существование реверсивного течения по верхнему течению рукава раздвоенного русла между основной рекой и притоком. Условия формирования реверсивного течения зависят от длины соединительного рукава и амплитуды изменения уровней на реках. На многих реках

этого типа раздвоенные русла и соединительные протоки — реликты позднеплейстоценовых и голоценовых смещений русла, и условия течения в них могут зависеть как от современных эрозионно-аккумулятивных процессов в руслах, так и от антропогенного воздействия. В связи с этим конфигурация таких узлов может быть разнообразной, что будет показано ниже на примерах исследованных слияний.

Наиболее простая конфигурация узла слияния подобного типа наблюдается при впадении Томи в Обь, где образуется пойменно-русловое “дельтовое” разветвление. По протоке Чацкой, создающей короткое слияние, возникает переток вод из Томи в Обь, когда уровни в Томи в половодье превышают уровни в главной реке, в это время находящейся в подпоре. При последующем росте водности Оби и в межень сток по протоке направлен из Оби в Томь. При определенных соотношениях уровней и величин расхода здесь создаются кратковременные ситуации, когда в соединительной протоке поток запирается из-за взаимного подпора от обеих рек.

В Амуро-Уссурийском водном узле (рис. 2) раздвоенное русло Амура представлено двумя рукавами: левым — собственно Амуром, для которого характерно формирование излучин, их продольное смещение и спрямление; правым, относительно маловодным — протокой Казакевичевой, которая, сливаясь через 32 км от истока с р. Уссури, получает название Амурской. Рукава разделены двумя островами — Тарабаровым и очень крупным Большим Уссурийским. Амурская протока сначала течет вдоль правого коренного берега, параллельно основному левому рукаву Амура, в нижнем течении образует крутую вписанную излучину, после чего сливается с Амуром, который, подходя к этому же коренному берегу, делает крутую вынужденную излучину, шпора которой расчленяется двумя спрямляющими ее протоками — Пемзенской и Бешеной, обеспечивающими плавный подход реки к коренному берегу. По этим же протокам намечалось естественное спрямление излучины: протока Пемзенская уже забирала до  $\geq 50\%$  стока из русла Амура. Если бы это произошло, длина раздвоенного русла возросла бы еще более и слияние Амура с Амурской протокой, включающей



**Рис. 2.** Амуро-Уссурийский водный узел: 1 — пойма; 2 — коренные берега; 3 — судовой ход; 4 — реверсивное течение в Казакевичевой протоке; 5 — современная госграница России и Китая; 6 — дамбы.

воды р. Уссури, сместилось бы вниз по течению еще на несколько километров. Этот процесс был предотвращен возведением переливной (в многоводную фазу режима) фильтрационной дамбы, перекрывающей Пемзенскую протоку.

Гидрологический режим Амура и Уссури предопределяет периодический подпор притока главной рекой и главной реки притоком в период прохождения руслоформирующего расхода воды. Для обеих сливающихся рек характерен паводочный режим при основном питании от летне-осенних дождей (в это время проходит до 90% годового стока). Паводочный период обычно состоит из трех-четырех дождевых паводков, пики которых на 5–8 м превышают наиболее низкие предпаводочные уровни. Паводки проходят по обеим рекам в разное время. В летний период почти с ежегодной повторяемостью расход на Уссури во время прохождения на ней паводков превышает расход Амура, находящегося в это время в меженном состоянии. В остальное

время Уссури подпирается Амуром. В первом случае превалирует длинное слияние, благодаря которому основной расход воды проходит по главному руслу Амура, тогда как по протоке Казакевичевой возникает противотечение из Уссури в Амур, направленное против общего уклона дна и связанное с превышением уровня воды в устье притока по сравнению с таковым на главной реке. Следствием этого стало обмеление протоки Казакевичевой, имеющей больший сток наносов, чем р. Уссури (1–2 млн т в год против 0.4 млн т в год на р. Уссури при годовом стоке наносов на Амуре 26 млн т в год), причем относительная величина стока наносов в протоке больше относительной величины стока воды. Отходя от Амура под большим углом и к тому же за мысом правого коренного берега, отклоняющего амурский поток влево и оставляющего заход в протоку в зоне “скоростной” тени, протока Казакевичева является наносоотсасывающей. При подпоре Амура паводочным потоком Уссури протока в наибольшей мере испытывает его

влияние и в данных условиях мелеет [18]. Когда главная река подпирает Уссури, по протоке Казакевичевой проходит больший расход, чем по Уссури, в ней возникает повышенный уклон, происходит транзит наносов и даже возможно некоторое ее углубление.

В конце XX в. природные процессы обмеления Казакевичевой и Амурской протоки усилились из-за возведения комплекса дамб на островах узла. Эти дамбы прервали транзитный поток воды, который в многоводную фазу направлялся из Амура в протоку Казакевичеву; теперь он оказался в искусственно созданных подпорных условиях и стал частично направляться в протоку Прямую между островами и далее вновь в Амур. Водность протоки Казакевичевой во время паводков сократилась. Происходящее обмеление Казакевичевой протоки привело к прекращению по ней судоходства и возникновению пограничного конфликта с Китаем (граница проходит по фарватерам Амура и Уссури), который был разрешен в 2005 г. передачей Китаю о. Тарабарова и части о. Большого Уссурийского, вследствие чего протока Казакевичева теперь полностью проходит по территории Китая.

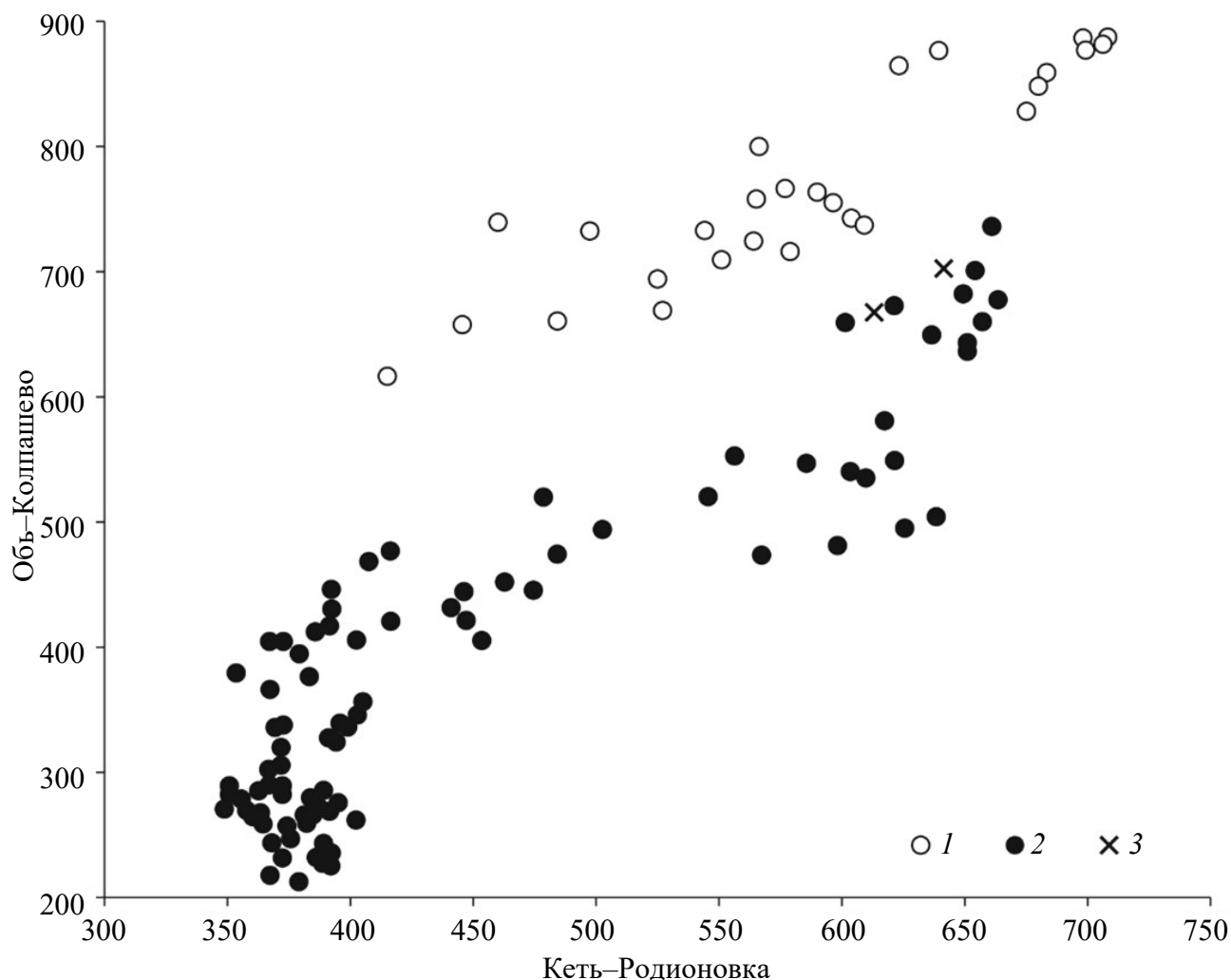
В 2001 г. для компенсации негативного эффекта от имеющихся гидротехнических сооружений на протоке Прямой была построена переливная дамба, что увеличило долю стока в Казакевичевой протоке. Анализ космических снимков показал, что после этого протоку “промыло” (сократились площади обсыхающих в межень прирусловых отмелей), что снизило вероятность образования течения по ней из Уссури в Амур.

Аналогичная конфигурация узла характерна для слияния р. Кети с Обью. При выходе в долину Оби Кеть сливается с правым относительно маловодным рукавом главной реки (который выше устья притока называется Кетью Тогурской, ниже слияния с Кетью — Кетью Копыловской), протекающим в тыловой части правобережной поймы и соединяющимся с основным руслом Оби (ее левым рукавом) в 60 км ниже по течению в районе п. Нарым. Кеть Тогурская начинается в правом рукаве пойменно-руслового разветвления Оби у г. Колпашево — протоке

Канеровской, доля стока которой составляет 35% от стока Оби в начале спада половодья. Разные названия правого рукава раздвоенного русла Оби выше и ниже устья Кети связаны с тем, что по Кети Тогурской во время половодья, когда уровни на Кети выше, чем на Оби, часть стока воды направляется в Канеровскую протоку (рис. 3), а в Кеть Копыловскую поступают исключительно воды Кети. Во время половодья при уровнях на Оби, превышающих таковые на притоке, течение из нее направляется в Кеть, и такое состояние сохраняется на спаде половодья и в межень. Таким образом, Кеть Копыловская только на пике половодья на Кети представляет собой ее прямое продолжение, отдавая при этом часть стока в Обь. Все остальное время и она, и Кеть Тогурская составляют правый рукав раздвоенного русла Оби, как в случае с описанными выше Казакевичевой и Амурской протоками раздвоенного русла Амура.

В отличие от Амуро-Уссурийского узла, в котором рукава раздвоенного русла разделяются большим пойменно-островным массивом, между Обью и Кетью Копыловской (правым рукавом) существует гидравлическая связь по пойменным протокам, разделяющая междуречье на отдельные части, и направление перетоков между рукавами может быть как переменным в зависимости от соотношения уровней сливающихся рек (такова протока Чирьевская Кеть), так и односторонним во все фазы водного режима (по протоке Квеш — из Кети Копыловской, по протоке Копыловской — из Оби), определяясь общей ориентировкой проток в долине реки. Соотношение водности рек и направление течений для узла слияния Кети с Обью необходимо учитывать, так как по Кети Тогурской осуществляется связь водных путей по главной реке и притоку.

Среди больших рек мира пример узла слияния, похожий на вышеперечисленные, — разветвление на слиянии р. Жапуры с Амазонкой, они соединяются крупным рукавом Аранапугу, образуя крупный пойменно-островной массив. Но течение по этому рукаву направлено исключительно из Амазонки, а наибольшие в узле темпы размыва берегов именно в рукаве свидетельствуют о постепенном росте в нем расхода воды



**Рис. 3.** Соответствие уровней за 2021–2023 гг. в узле слияния на р. Оби (г.п. Колпашево) и р. Кети (г.п. Родионовка), обеспечивающих направление течения из Оби в Кеть (1), из Кети в Обь (2) и образование “запора” (3) при смене условий. По осям — уровни над нулем поста (см); для г.п. Колпашево (13 км выше узла слияния) — на дату снимка, для г.п. Родионовка (76 км выше узла слияния) — на предыдущие сутки с учетом времени добега.

[23] — таким образом, можно предполагать существование в нем ранее реверсивного течения, прекратившегося с естественным изменением водности рукава (как в случае с Амуро-Уссурийским узлом).

Более сложная картина режима уровней и направления течений возникла при слиянии Анадыря с Майном вследствие большей длины рукавов развоенного русла. Реки на участке слияния выходят в Марковскую впадину — часть крупной Парапольско-Бельской низменности — заболоченную поверхность с большим количеством проток и озер, термо-

карстовыми понижениями и незатопляемыми увалистыми массивами, представляющую собой днище бывшей озерной котловины. Выположенность поверхности и резкое уменьшение уклонов по сравнению с вышерасположенными участками реки в горах предопределили формирование протяженного участка развоенного русла, объединяющего Анадырь с его крупным правым притоком — Майном и другими притоками меньшего размера (рис. 4). Развоенное русло здесь представлено основными руслами рек и меандрирующими руслами шести крупных проток, по которым рассредоточивается сток Анадыря, Майна и других притоков.

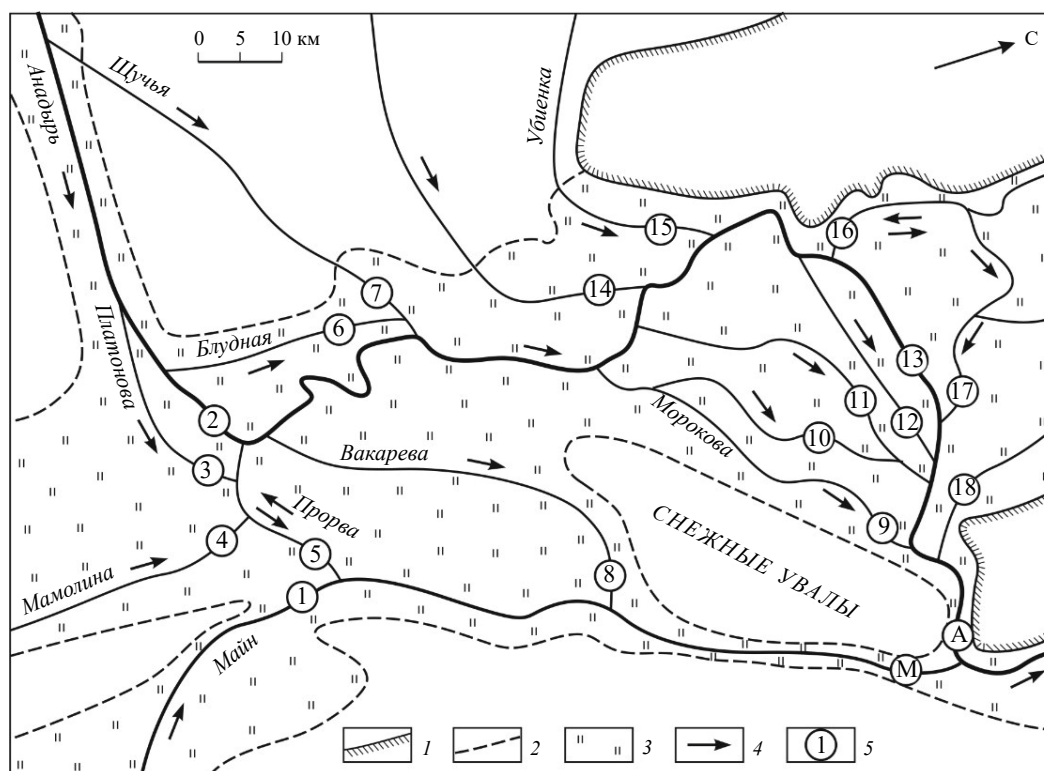


Рис. 4. Картограмма рукавов и русел притоков в пределах Анадыро-Майнского разветвления: 1 — коренные борта долины; 2 — бровки террас; 3 — пойма; 4 — направление течения; 5 — створы измерения расходов воды.

Разветвление русла Анадыря начинается ниже выхода реки с гор с отделения от еще полугорного русла крупной левобережной протоки Щучьей, врезанной в озерно-аккумулятивную террасу, превышающую меженный уровень на 10–15 м, забирающей до трети общего расхода воды в Анадыре выше узла слияния [19]. В районе ур. База Крепость уклоны реки резко понижаются, здесь русла Анадыря и Майна сближаются на расстояние 13 км и их соединяет протока Прорва — собственно начало рукава раздвоенного русла Анадыря, течение по которой может быть разнонаправленным в зависимости от соотношения уровней и величина расхода на обеих реках. В Прорву впадают р. Мамолина и несколько второстепенных проток Анадыря, оказывающие значительное влияние на ее гидрологический режим.

Процессы в этом узле слияния зависят от наложения волн половодья на сливающихся реках. Половодье обычно наблюдается сначала на Майне, бассейн которого лежит южнее анадырского, в связи с чем сток воды по Прорве происходит

в сторону Анадыря. Затем начинается подъем уровня воды на Анадыре, расход которого значительно больше, на пике подъема вода поступает в Прорву по пойменным протокам, а при наиболее значительных уровнях — и непосредственно из основного русла Анадыря.

Анализ мутности в реках и протоке Прорве по доступным разновременным спутниковым снимкам за 1995–2023 гг. показал, что течение из Майна в Анадырь наблюдается в 43% случаев (в основном в августе–сентябре при низких уровнях воды или при очень высоких уровнях на Майне), достигая 15% стока Майна выше Прорвы (табл. 2). Противоположное направление течения, из Анадыря в Майн, наблюдается намного реже (16% случаев); причем непосредственно из Анадыря течение возникает при значительно более ранней дате подъема его уровня по сравнению с Майном. В основном такое направление течения формируется за счет стока по протоке Платоновой, ответвляющейся от Анадыря выше по течению. В 33% случаев сток р. Мамолиной во время половодья достаточно высок, в результате

**Таблица 2.** Измеренные расходы воды по рукавам и протокам Анадыро-Майнского раздвоенного русла (% от общего расхода  $Q_{\Sigma}$  Анадыря и Майна ниже слияния) в разные фазы водного режима [19]

| Створ<br>(рис. 4) | Река, рукав, протока                                                                        | Половодье 2021 г.<br>( $Q_{\Sigma}$ – 6160–7190 м <sup>3</sup> /с) |           | Межень 2022 г.<br>( $Q_{\Sigma}$ – 1150–1795 м <sup>3</sup> /с) |           | Половодье 2024 г.<br>( $Q_{\Sigma}$ – 4650–5270 м <sup>3</sup> /с) |           |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
|                   |                                                                                             | $Q$ , м <sup>3</sup> /с*                                           | %**       | $Q$ , м <sup>3</sup> /с*                                        | %**       | $Q$ , м <sup>3</sup> /с*                                           | %**       |
| А                 | Анадырь, стрелка                                                                            | 4830–5430                                                          | 78        | 845–1350                                                        | 74        | 3330                                                               | 65        |
| М                 | Майн, стрелка                                                                               | 1330–1760                                                          | 22        | 305–445                                                         | 26        | 1250–1940                                                          | 35        |
| 1                 | Майн, верхний створ                                                                         | 699                                                                | 9         | 352                                                             | 25        | 1280                                                               | 24        |
| 2                 | Анадырь, ур. База Крепость                                                                  | 1200                                                               | 17        | 506                                                             | 35        | 1840                                                               | 35        |
| 3                 | Платонова                                                                                   | 72                                                                 | 1.2       | 19                                                              | 1.6       | 207                                                                | 4         |
| 4                 | Мамолина                                                                                    | 352                                                                | 5.7       | 46                                                              | 4         | 203                                                                | 4         |
| 5                 | Прорва***                                                                                   | 249                                                                | 3.2       | 42                                                              | 3.6       | 185                                                                | 3.5       |
| 6                 | Блудная                                                                                     | 94                                                                 | 1.5       | 9.4                                                             | 0.8       | 135                                                                | 2.6       |
| 7                 | Щучья                                                                                       | 414                                                                | 6.7       | 176                                                             | 15        | 664                                                                | 13        |
| 8                 | Вакарева                                                                                    | 24 / 365                                                           | 0.4 / 5   | 3.4 / 45                                                        | 0.3 / 4   | 96 / 375                                                           | 1.8 / 7.1 |
| 9                 | Морокова                                                                                    | 387 / 667                                                          | 6 / 10.5  | 71 / 77                                                         | 6.2 / 6.7 | 520 / 610                                                          | 10 / 11.5 |
| 10                | Средняя                                                                                     | 92                                                                 | 1.5       | -                                                               | -         | 150                                                                | 2.8       |
| 11                | Большая Новая                                                                               | 233 / 462                                                          | 3.7 / 7.3 | 37 / 81                                                         | 3.2 / 7   | 260 / 460                                                          | 5 / 8.7   |
| 12                | Луковая                                                                                     | 711 / 816                                                          | 11 / 13   | 242 / 264                                                       | 21 / 23   | 650                                                                | 12        |
| 13                | Анадырь в створе пр. Луковой                                                                | 818                                                                | 13        | 404                                                             | 35        | 930                                                                | 18        |
| 14–18             | Левобережные боковые притоки<br>(Ныгчеквеем, Убиенка, Чивмы-<br>веем, Крестовая, Чинейвеем) | 863                                                                | 14        | 199                                                             | 17        | 960                                                                | 18        |

\* Для отдельных проток указаны расходы в истоке (в числителе) и в устье (в знаменателе).

\*\* Приведены измеренные расходы воды и доли, пересчитанные с учетом даты измерения и времени добегания.

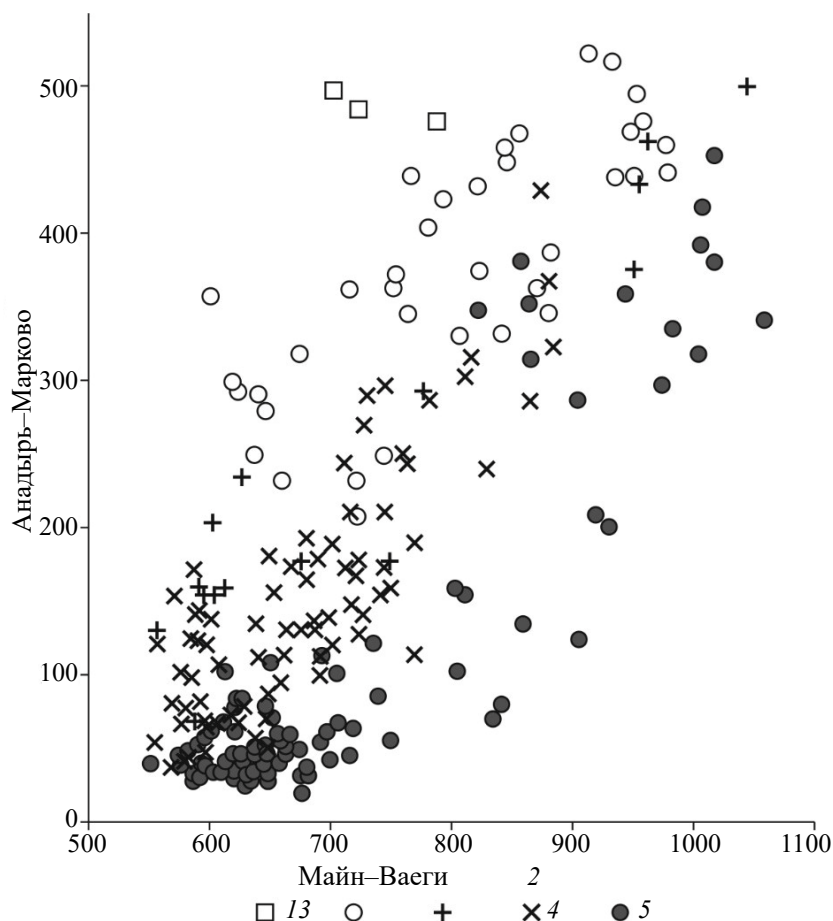
\*\*\* На момент измерений 2021 и 2024 гг. сток по Прорве шел из р. Мамолиной в обе стороны, 2022 г. – из р. Майн.

чего ее воды поступают по протоке Прорве в обе реки. При синхронном росте уровней на Майне и Анадыре и при условии небольшого стока р. Мамолиной воды обеих рек “закупоривают” протоку Прорву, подпирая р. Мамолину и постепенно затапливая пойму (рис. 5). Ближе к нижнему устью Майна объединенная долина обеих рек сужается, в результате чего возникает своеобразное “бутылочное горло”, которое оказывает подпорное воздействие на обе реки в пределах низменности. Из-за этого период затопления поймы растягивается до 1.5 мес., начинается с накопления талых снеговых вод на поверхности низменности в конце мая и продолжается волнами половодий и дождевых паводков, заканчивается только после постепенного слива воды с затопленной территории.

Развитие разветвления в голоценовое время привело к формированию здесь раздвоенного русла при постепенном смещении основного рукава к северу в пределах котловины – аналогично возрастают и доли стока в рукавах. Наи-

более старое русло Анадыря, сформировавшееся после осушения подпрудного озера, проходило по южному краю котловины и включало в себя современную р. Мамолину, протоку Прорву и русло Майна ниже впадения Прорвы. Этот узел слияния отличается от описанных выше значительной длиной раздвоенных рукавов – 300 км по Анадырю и 200 км по Прорве и нижнему течению Майна, в связи с чем для маломерного судоходства в основном используется более короткий путь. Несмотря на это, переменное течение по рукаву, создающему верхнее слияние рек, перемещение по нему части стока из главной реки в приток и из притока в главную реку, а также из главной реки в приток по системе пойменных проток или через затапливаемую пойму, а также история формирования – позволяют отнести этот узел слияния к первому типу.

Пожо по структуре и по геологической истории формирования узел слияния рек Маргариты и Кауки в Колумбии, между раздвоенными руслами которых лежат массивы заболоченной, редко



**Рис. 5.** Зависимость направления течения в системе Анадырь–протока Прорва–р. Майн от соотношения уровней на реках: 1 – из Анадыря в Майн; 2 – из Анадыря по протоке Платоновой в Майн; 3 – образование “запора”; 4 – из р. Мамолиной в обоих направлениях; 5 – из Майна в Анадырь. По осям – уровни над нулем поста (см). Уровень воды на г.п. Ваеги (р. Майн) принимался за предыдущий день (с учетом времени добегания).

затапливаемой поверхности. Отличие этого разветвления в том, что перераспределение расхода между двумя основными рукавами происходило в XX в. более заметными, чем у Анадыря, темпами, что связано с интенсивностью современных тектонических движений на территории [25] и циклическими климатическими событиями [24].

#### *Гидрологический режим узлов слияния рек второго типа*

Второй тип узлов слияния притока с рукавами раздвоенного русла главной реки – превращение устьевой области притока в рукав раздвоенного русла благодаря перетоку воды сначала по крупным пойменным протокам, а затем и одному из рукавов главной реки. Этот тип характерен для рек с большим количеством субпараллельных

рукавов раздвоенного русла в долинных расширениях, где система рукавов основной реки приурочена к одному из берегов, а впадающий приток протекает по противоположной стороне. Наиболее яркий пример такого узла слияния – впадение Северной Сосьвы в левый рукав нижнего течения Оби – Малую Обь [15]. Здесь по пойменным протокам Лапорской и Пырсим из Малой Оби в Северную Сосьву на спаде половодья перетекает (по измерениям в июне 2019 г.) 7% расхода воды Оби (29% от водности Малой Оби), что в эту фазу водного режима увеличивает сток Северной Сосьвы в 1.6 раза; затем ответвляющийся от Малой Оби рукав – протока Вайсова увеличивает уже объединенный сток Северной Сосьвы и пойменных протоков Оби еще на 60%, вследствие чего доля стока притока в левом рукаве раздвоенного русла составляет всего 40% (табл. 3).

Более сложное слияние у р. Индигирки с р. Аллаихой — левым притоком в ее нижнем течении. Здесь Индигирка между Полоусным кряжем и вершиной дельты имеет широкопойменное (пойма шириной до 50 км) русло длиной 150 км (рис. 6). Русло извилистое, осложненное многочисленными островными разветвлениями, проходит вдоль правого борта долины, прижимаясь местами к отрогам Кондаковского плоскогорья. В тыловой части левобережной поймы вдоль увалов Яно-Индигирской низменности протекает р. Аллаиха, имеющая меандрирующее русло. Между обеими реками по большому количеству пойменных проток (Лудзина, Мугордахская, Быталах, Учурях, Балыскина и др.) часть стока направляется из Индигирки в Аллаиху, увеличивая ее водность, а затем левый рукав — протока Эрге-Юрях, соизмеримая по водности с Аллаихой, — образует уже вместе с Аллаихой рукав раздвоенного русла. В высокое половодье пойма между коренными берегами полностью затапливается.

Большинство современных пойменных проток на этом участке возникло благодаря соединению во время половодий ранее существовавших здесь термокарстовых озер [6]. Протоки характеризуются значительной извилистостью русел, многие излучины развиваются в днищах спущенных термокарстовых озер. Отдельные небольшие протоки имеют ширину пояса меан-

дрирования до 5 км, сравнимую с современным поясом меандрирования основного русла. Это позволяет предположить существование в прошлом на их месте крупных рукавов или основных русел Индигирки и Аллаихи. По-видимому, в течение голоцена р. Индигирка имела здесь раздвоенное русло, основные рукава которого постепенно отмирали из-за врезания реки в условиях колебания уровня моря [3].

#### *Гидрологический режим узлов слияния рек третьего типа*

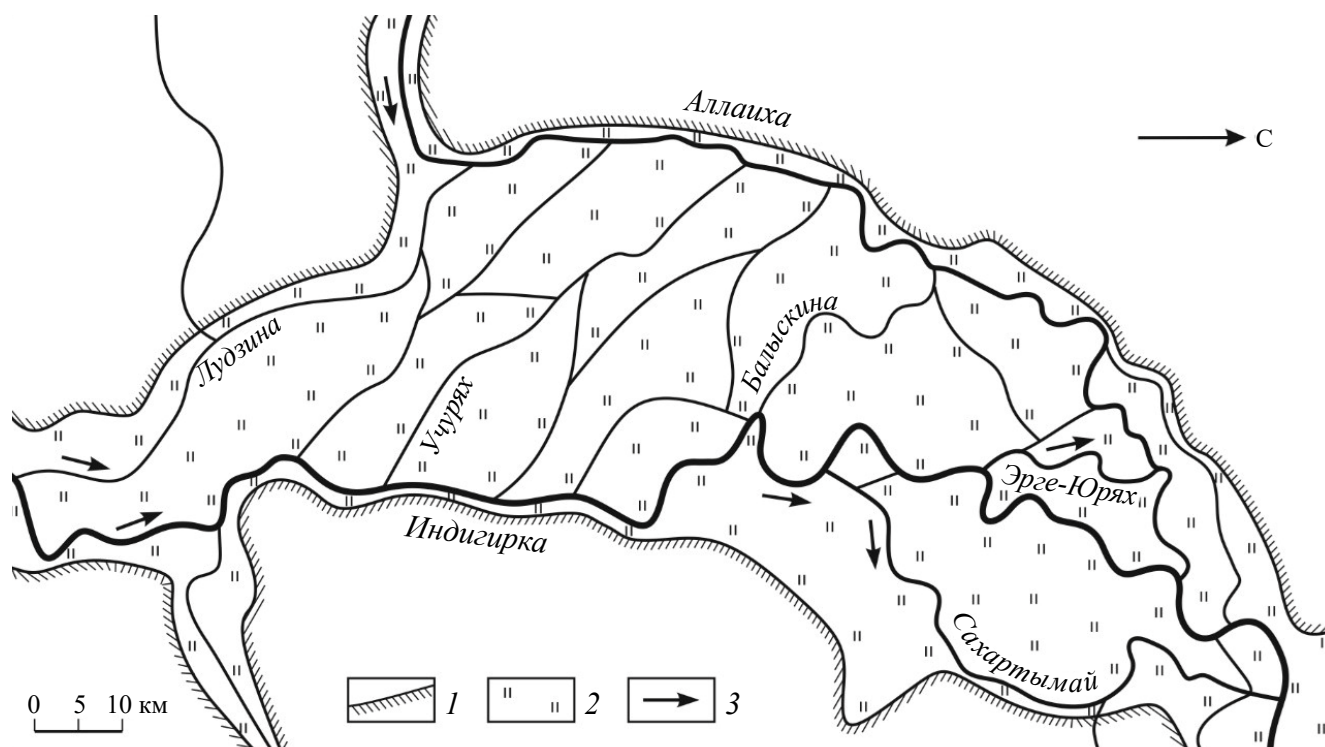
Узлы слияния третьего типа отличаются от узлов предыдущего типа тем, что основная река с раздвоенным руслом подходит к слиянию с притоком под углом, близким к прямому, в связи с чем рукава раздвоенного русла образуют своеобразную “дельту”, поочередно соединяясь с притоком. Наиболее яркий пример этого типа — узел слияния Оби и Иртыша, в котором Обь на широтном участке среднего течения имеет раздвоенное русло с преобладающим по водности правым рукавом — собственно Обью (доля стока 65–80 %). Левый рукав — протока Неулёва перед устьем Иртыша разделяется на два, самостоятельно впадающих в Иртыш на последних 20 км, рукава: крайний левый (южный) — протоку Большую Неулёву и протоку Тренькину, их доли стока (по измерениям 01.07.2018 в устье) состав-

**Таблица 3.** Изменение водности рукавов раздвоенного русла нижней Оби (Малой Оби и протоки Вайсовой) в узле слияния с Северной Сосьвой (по измерениям в июне 2019 г.) [15–16]

| Створы                                                                 | Расходы воды            |         |              |                    |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|--------------|--------------------|
|                                                                        | $Q$ , м <sup>3</sup> /с | $Q$ , % |              |                    |
|                                                                        |                         | от Оби  | от Малой Оби | от Северной Сосьвы |
| Малая Обь выше Лапорской протоки                                       | 5595                    | 24      | –            | –                  |
| Лапорская протока                                                      | 1153                    | 5       | 19           | 45**               |
| Протока Пырсим                                                         | 435                     | 2       | 10           | 17**               |
| Малая Обь выше захода в протоку Вайсову                                | 4007                    | 7       | 26           | –                  |
| Протока Вайсова                                                        | 2490                    | 11      | 67*          | 97.5**             |
| Северная Сосьва (перед выходом в долину Оби)                           | 2556                    | 11      | 46           | –                  |
| Северная Сосьва (ниже впадения проток Лапорской и Пырсим)              | 4144                    | –       | –            | 162                |
| Северная Сосьва и протока Вайсова (левый рукав раздвоенного русла Оби) | 6652                    | –       | –            | 260                |

\* Доля стока Малой Оби с учетом ответвления его в другие пойменные протоки и центральный рукав раздвоенного русла.

\*\* Доля стока относительно водности Северной Сосьвы до выхода в долину Оби.



**Рис. 6.** Раздвоенное русло и пойменная многорукавность р. Индигирки в нижнем течении: 1 — коренные борты долины; 2 — пойма; 3 — направление течения.

ляют соответственно 8.1% (1121 м<sup>3</sup>/с) и 30.4% (4191 м<sup>3</sup>/с) от стока Оби (13 784 м<sup>3</sup>/с). Эти рукава Оби увеличивают водность Иртыша в 1.9 раза (по измерениям 14.06.2021) с 4849 м<sup>3</sup>/с у г. Ханты-Мансийска до 9575 м<sup>3</sup>/с перед слиянием с основным правым рукавом Оби. Для всего узла характерно абсолютное преобладание подпорных условий Оби от Иртыша, что в определенной мере — причина сосредоточения ее основного стока в правом рукаве, образующем нижнее слияние.

#### *Гидрологический режим узлов слияния рек четвертого типа*

Рассмотренные выше типы отражают специфические, сравнительно редко встречающиеся условия слияния достаточно крупных притоков с главной рекой, имеющей раздвоенное русло. Более распространено впадение средних и малых рек в крайние (проходящие вдоль бортов долины) рукава раздвоенного русла или крупные пойменные протоки (четвертый тип). Именно они обозначены в классификации узлов слияния рек [9–10] как “слияние с пойменными от-

ветвлениями” или “слияние с рукавом одной из рек” [13], причем конкретные примеры отнесены к ним иногда не совсем правомерно, отражая на момент разработки классификации недостаточную их изученность. К таким узлам слияния относятся устья рек Казым (впадает в Сомутнельскую протоку — правый рукав раздвоенного русла нижней Оби, точнее — его правого основного рукава Горной Оби), Большой Юган и Большой Салим (в Юганскую Обь и Салимскую протоку средней Оби). Будучи похожими на узлы слияния второго типа, эти узлы характеризуются малой водностью притока относительно основной реки (даже при сопоставимой водности притока и протоки, в которую он впадает), в связи с чем морфологию узла слияния определяет подпор от основной реки в половодье.

#### *Гидрологический режим узлов слияния рек пятого типа*

Пятый тип, по сути, отражает формирование самого раздвоенного русла при слиянии с притоком: главная река с неразветвленным руслом в ходе русловых деформаций размывает поймен-

ный перешеек между ней и притоком (малой рекой), проходящим в тыловой части поймы. Часть ее стока “перехватывается” низовьями притока, русло которого со временем увеличивает свои параметры (ширину, глубину), приспособляясь к новой водности. Такова протока Симан на Оби в 150 км выше устья р. Томи: левый рукав, забиравший до 30–35% ее стока, образовался в нижнем течении р. Уени (левого притока Оби) из-за размыва левобережной поймы между ней и главной рекой [16]. В настоящее время водность протоки Симан снизилась до 15–20%, что связано с врезанием Оби ниже Новосибирского гидроузла.

#### *Гидрологический режим узлов слияния рек шестого типа*

Шестой тип составляют устьевые участки сравнительно небольших, но многоводных рек, которые перед слиянием с большой или крупнейшей рекой пересекают ее широкую пойму. Их выход в ее пределы обычно сопровождается снижением уклонов и разделением русла на 2–3 близких по водности меандрирующих рукава, самостоятельно впадающих в главную реку на расстоянии до десятка километров друг от друга. Таковы притоки средней Оби – Чая, Васюган, Парабель (левые); Тым, Тром-Юган (правые), которые образуют в пойме Оби раздвоенные русла при соединении с пойменными протоками, течение в которых может быть направлено как из Оби, так и в нее.

Аналоги пятого и шестого типов узлов слияния – правые притоки Параны (в среднем течении) – реки Ивиньейма и Амамбай, формирующие в пределах поймы единый протяженный рукав, соединяющийся отдельными протоками с основным рукавом раздвоенного русла Параны [26]; а также ответвляющаяся от Мадейры и впадающая в Амазонку протока Урария, которая вместе с основными реками формирует островной массив Тупинамбарана длиной > 300 км и за счет перетоков из Амазонки к устью имеет средний расход > 4800 м<sup>3</sup>/с (что, однако, составляет лишь 3% общего расхода реки) [22].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования показали, что в устьях притоков главной (преобладающей или

намного большей по водности) реки, имеющей раздвоенное русло, создаются специфические условия взаимодействия сливающихся рек и формирования разветвлений. Они связаны со следующими процессами: 1) рассредоточением стока по рукавам, в результате чего на развитие узла слияния оказывает влияние не принимающая река, а ее рукав; 2) перемещением части стока главной реки в приток вплоть до превращения его в рукав раздвоенного русла; 3) возникновением реверсивных течений в верхней части одного из рукавов выше устья притока в нем: в зависимости от соотношения фаз водного режима наблюдается переменный подпор, и сток по рукаву направляется из главной реки в приток или из притока в главную реку; 4) последовательным слиянием рукавов раздвоенного русла с притоком вплоть до двукратного увеличения его водности и последним (нижним) расположением в условиях преимущественного подпора от главной реки узла слияния. Осложняющий момент в развитии узлов слияния притока с рукавами раздвоенного русла – пойменная многорукавность (расчленение поймы маловодными пойменными протоками), обеспечивающая дополнительные перетоки воды из главной реки в приток, и впадение малых рек в рукав, соединяющий основную реку и ее приток.

Относительно небольшие притоки (по сравнению с главной рекой), попадая в пойму главной реки, сами формируют раздвоенное русло, устья рукавов которых располагаются на значительном расстоянии друг от друга. Этого не происходит, если рукав раздвоенного русла направлен вдоль борта долины, тогда такие притоки образуют с ним бездельтовые узлы слияния. Наконец, малые реки, попадая в долину большой реки, текут в ее тыловой части, и при размыве главной рекой поймы между ними происходит “перехват” части ее стока малой рекой и превращение последней в рукав раздвоенного русла.

Отмеченные особенности гидрологического режима и условий формирования узлов слияния притоков с рукавами раздвоенного русла должны учитываться при водохозяйственном и водотранспортном использовании рек и речных ресурсов, а при пограничном расположении сливающихся рек – при решении возникающих территориальных проблем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аваряский Л.П.* Рельеф устьевых районов притоков Нижнего Амура (по данным геоморфологических исследований). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Владивосток: ТИГ ДВНЦ АН СССР, 1972. 22 с.
2. *Алексеевский Н.И.* Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 203 с.
3. *Бабич Д.Б., Коротаев В.Н., Магрицкий Д.В., Михайлов В.Н.* Нижняя Индигирка: устьевые и русловые процессы. М.: ГЕОС, 2001. 202 с.
4. *Беркович К.М., Зайцев А.А.* Русловые процессы в узле слияния Бии и Катунь // Метеорология и гидрология. 1976. № 8. С. 81–85.
5. *Ботвинков В.М., Гордеев О.И., Дегтярев В.В., Чернышов Ф.М.* Проектирование мероприятий по улучшению судоходных условий в узлах слияния рек. Новосибирск: НИВТ, 1981. 89 с.
6. *Лаврушин Ю.А.* Аллювий равнинных рек субарктического пояса и перигляциальных областей материковых оледенений // Тр. ГИН. М.: Изд-во АН СССР, 1963. Вып. 87. 267 с.
7. *Маккаев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
8. *Никитина Н.А.* Развитие рукавов и эрозионно-аккумулятивных процессов в узлах слияния рек // Вод. ресурсы. 1987. № 2. С. 67–71.
9. *Никитина Н.А.* Русловые процессы в узлах слияния рек. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1989. 21 с.
10. *Никитина Н.А., Чалов Р.С.* Узлы слияния рек и их морфологические типы // Геоморфология. 1988. № 4. С. 64–70.
11. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна / Под ред. *Р.С. Чалова и др.* Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
12. *Чалов Р.С.* О рисунке русла на участке слияния притока с главной рекой // Вест. Московского ун-та. Сер. 5, География. 1964. № 1. С. 61–63.
13. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
14. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Бельский Б.В., Ботавин Д.В., Гаррисон Л.М., Турыкин Л.А.* Русловые процессы в узле слияния Вычегды и Сысолы и их регулирование для решения транспортных и водохозяйственных проблем в Сыктывкарском водном узле // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Геогр. фак. МГУ, 2012. Вып. 18. С. 270–287.
15. *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) // Вод. ресурсы. 2021. Т. 48. № 1. С. 23–33.
16. *Чалов Р.С., Куракова А.А., Камышев А.А., Михайлова Н.М.* Раздвоенное русло больших и крупнейших рек: условия формирования, рассредоточение стока и морфодинамика русла // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 2. С. 60–75.
17. *Чалов Р.С., Рулева С.Н.* Влияние переформирования русел на развитие узлов слияния рек // География и природ. ресурсы. 2014. № 1. С. 161–168.
18. *Чалов Р.С., Чернов А.В.* Проблема развития русла Амура в районе Амуро-Уссурийского водного узла // География и природ. ресурсы. 2000. № 4. С. 93–98.
19. *Школьный Д.И., Цыпенков А.С., Головлев П.П., Бахарева Е.И., Антонюк А.М.* Особенности водного руслового режима реки Анадырь по результатам исследований 2020–2022 годов // Эрозионные, русловые и устьевые процессы: сборник статей. М.: Ваш формат, 2023. С. 137–143.
20. *Latrubesse E.M.* Patterns of anabranching channels: the ultimate end-member adjustment of mega rivers // Geomorphol. 2008. № 101. P. 130–145.
21. *Makaske B.* Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products // Earth Sci. Rev. 2001. V. 53. № 3. P. 149–196.
22. *de Mauro C.A.* Aspectos morfológicos da planície amazônica na Ilha Tupinambarana (Amazônia-Brasil) // Geociências São Paulo. 1983. № 2. P. 51–57.
23. *Peixoto J., Nelson B., Wittmann F.* Spatial and temporal dynamics of river channel migration and vegetation in central Amazonian white-water floodplains by remote-sensing techniques // Remote Sensing Environ. 2009. № 113. P. 2258–2266.
24. *Polanco S., Amos K., Edmonds D., Payenberg T., Sun X., Thyer M.* Avulsion triggering by El Niño-Southern Oscillation and tectonic forcing: The case of the tropical Magdalena River, Colombia // GSA Bull. 2017. № 129. P. 1300–1313.
25. *Smith D.G.* Anastomosing river deposits, sedimentation rates and basin subsidence, Magdalena River, northwestern Colombia, South America // Sediment. Geol. 1986. № 46. P. 177–196.
26. *Stevaux J., Gon P., Leli I., Fujita R.* Why do large rivers tend to form multichannel? A field study in the Upper Paraná River // Revista Brasileira de Geomorfologia. 2021. № 22. P. 967–985.

## Hydrology and morphology of confluences of rivers with split channels

**R. S. Chalov, D. I. Shkolnyi\***

*Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

*\*e-mail: danila.hydro@yandex.ru*

Confluence nodes of rivers with split channels are one of the most complex in terms of morphology, hydrological regime, and flow distribution among various types of confluences. Such nodes are relatively rare and typically occur at confluences involving large (or the largest) rivers but can also develop at the junctions of smaller tributaries under specific conditions. Based on a review of literature, field data, and satellite imagery, a classification of confluence nodes of rivers with split channels is proposed, identifying six distinct types according to their configuration. A regional analysis is conducted for each type, with examples provided from both Russia and other parts of the world. The conditions for the occurrence of reverse flows within individual channels of the confluence nodes are examined using the confluences of the Ob and Ket rivers, and the Anadyr and Main rivers as case studies. These analyses utilize observations of water levels and turbidity, the latter determined from satellite images.

*Keywords:* split channel, anabranching channel, confluence node, water discharge distribution, reverse flow.