

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА  
ОТДЕЛ ГЕОГРАФИИ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ, ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И  
ЭКОЛОГИИ**

*На правах рукописи*

УДК 528.931.2:532.543.7+627.160 (575.3)

**МАДЖИДОВ Одинабой Шарифмуродович**

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА  
РЕКАХ ТАДЖИКИСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И  
ИНТЕНСИВНОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

**Научный руководитель:**

доктор физико-математических наук,  
академик НАНТ Фарход Рахими

Душанбе - 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....</b>	<b>8</b>
<b>ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ РУСЛОВОГО РЕЖИМА ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ РЕК.....</b>	<b>17</b>
1.1. Обзор литературы, развёрнутые материалы и методологии исследования.....	18
1.2. Условия формирования русел горных и равнинных участков рек.....	25
1.3. Водный режим рек и классификация русловых процессов на них.....	36
Выводы по первой главе.....	49
<b>ГЛАВА 2. ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ФАКТОРЫ ФУРКАЦИИ ГОРНЫХ РЕК.....</b>	<b>52</b>
2.1. Проявления бифуркаций на реках Таджикистана как следствие геодинамической неустойчивости акваторий и ее последствие.....	53
2.2. Гидрографические сети рек и их изменения.....	78
Выводы по второй главе.....	107
<b>ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕНИЯ РЕК</b>	<b>109</b>
3.1. Математическое обеспечение и сопровождение процесса моделирования.....	110
3.2. Результаты моделирования разветвления рек	119
Выводы по третьей главе.....	135
<b>ГЛАВА 4. ФОРМАТ И СОДЕРЖАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РУСЛОВОГО РЕЖИМА НА РЕКАХ.....</b>	<b>136</b>
4.1. Реки Пяндж, Зеравшан, Обихингоу.....	137
4.2. Алгоритм действий (дорожная карта) по учёту русловых	143

процессов в инженерном обустройстве рек.....	
Выводы по четвертой главе.....	150
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>152</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>155</b>

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

абс.	Абсолютная высота
б/н	Без названия (притоки, которые не имеют название)
ГГИ	Государственный Гидрологический Институт
ГРРП	Города и районы республиканского подчинения
ИРА	Исламская Республика Афганистан
КЧС и ГО	Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республика Таджикистан
МГУ	Московский государственный университет
НАНТ	Национальная академия наук Таджикистана
НПК	Научно-практическая конференция
ОГДЗ	Отдел географии и дистанционного зондирования
ОПЯ	Опасные природные явления
Р.	Река

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Таджикистан – страна непредсказуемых, быстрых и впечатляющих рек.

Одним из малоисследованных вопросов жизни рек горных стран являются русловые процессы на них. Это можно объяснить, прежде всего, тем, что территория водосборов горных рек относительно труднодоступна и опасна для посещения и исследования (особенно в периоды половодья, паводков, схода лавин и т.п.). К тому же до последнего времени основное внимание учёные и практики уделяли изучению, описанию и освоению больших и средних рек, имеющих первостепенное значение в хозяйственной, транспортной, рекреационной, экологической и других сферах деятельности человека. Малые реки в большинстве своём остались в стороне от этого.

Горные реки, более подвержены отрицательному влиянию антропогенных воздействий, вызывающих в ряде случаев опасные природные явления или усиливающих их разрушительные свойства и последствия.

Для сравнительного анализа и выявления физико-географических особенностей русловых процессов нами были выбраны три речные системы – Пяндж (в нижнем течении), Зеравшан и Обихингоу. Эти реки отличаются физико-географическим положением, климатом, степенью хозяйственной освоенности водосборов, уровнем антропогенных воздействий на русловые процессы, паводковым режимом, от которых в значительной степени зависят характеристики русловых процессов на них.

В то же время, несмотря на полученные достаточно обширные материалы по русловым процессам на некоторых реках, остаются слабоизученными, сведения в литературе о них очень скудны или отсутствуют, хотя на них выполняются значительные объёмы регуляционных мероприятий.

В бассейнах горных рек крупные паводки и наводнения являются важными геоморфологическими факторами, которые влияют на форму и характеристики поведения одних рек и оказывают длительное воздействие на другие, в т.ч. и негативное. Изменившийся сейчас климат очень часто инициирует крупные

паводки и наводнения, являвшиеся основными факторами формирования и развития русла многих рек. Причём последние, возникающие по природным причинам, масштабируются из-за хозяйственной деятельности.

Перечисленные обстоятельство актуализируют тему выбранного исследования, поскольку знание физико-географических особенностей развития и протекания русловых процессов на реках способствуют решению ряда практических задач:

- строительство водозаборов, мостов, дорог, линии электропередач, трубопроводов, плотин, дамб, и берегозащитных сооружений и др. объектов;
- разработка карьеров, в долинах и руслах рек, хозяйственное освоение пойм и берегов рек;
- снижение напряжённости в экологической обстановке, вызванной интенсивным антропогенным воздействием на реках, вмешательством в естественное развитие речных русел;
- позитивное влияние на укрепление государственной границы, так как почти половина линии государственной границы РТ проходят по руслам рек и деформация русел рек здесь обычное явление.

**Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основы исследований.**

В целом, реки Таджикистана изучались в течение 3-х временных срезов.

Первый относится к периоду с 1864 до 1917 г. - до начала присоединения территории современного Таджикистана к царской России. Со стороны таких учёных, как В.И. Липский, Э. Ольдекоп, А.И. Глуховской, Л. Берг и др., были изучены физико-географические особенности рек Средней Азии, история и этнография народов, живущих вдоль подбассейнов рек Амударьи и Сырдарьи.

Второй начинается с момента социалистического эксперимента на территории Бухарского Ханства (с 1919 г.) до развала СССР и провозглашения Таджикистаном своего суверенитета в 1991 г. Был издан ряд статей и монографий по обсуждаемой теме (русловые деформации), над которыми работали такие великие учёные, как: Н.И. Львович, Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов,

С.Т. Алтунин, А.М. Никитин, Г.П. Горшков, А.Ф. Якушева, И.Ф. Карасёв, А.О. Кеммерих, В.В. Цинзерлинг и др. Они изучили гидрологию, гидрографию, морфологию, оледенение, климат, водный режим и другие гидрологические характеристики бассейнов рек на территории РТ.

Третий этап включал в себя период с 1991 г. по настоящее время и отличается тем, что такие учёные, как О.К. Комилов, А.Р. Фазылов, А.Х. Хусейнов, У.И. Муртазаев, Дж. Наботов, О.Х. Амирзода, Я.Э. Пулатов, М.С. Саидов, М.С. Сафаров, Н. Кадиров, А. Курбонов и др. установили характерные особенности руслоформирования, описали морфологию и гидрографию бассейнов рек, сформулировали роль твёрдых стоков в жизни рек, обобщили особенности преобразования речных систем, описав, таким образом, отдельные черты русловых процессов, происходящих, как на равнинных, так и на горных реках РТ.

Русловые процессы в горных реках вообще были мало изучены или вообще не исследовались. Также до настоящего времени не была определена классность (бонитировка речной сети) рек Пянджа, Зеравшана и Обихингоу.

Теоретически, чётких и ясных физико-географических особенностей руслового режима рек на фоне изменения рисунка их гидрографических сетей и схемы бифуркации озёр в условиях Таджикистана так и не было выявлено, что актуализирует тему выбранного диссертационного исследования.

**Связь темы с программами (проектами) и другими научными темами.** Диссертационная работа выполнялась в рамках республиканской НИР «Озера Таджикистана: условия образования, особенности их использования и защиты в контексте изменения климата» (РКД 0119ТJ00983. 2021-2025 гг.), в разработке, которой соискатель принимал непосредственное участие: научно-исследовательская работа.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Цель** диссертационного исследования состоит в выявлении особенностей морфологии и динамики русел рек на основе анализа физико-географических и геолого-геоморфологических условия их формирования и оценки влияния на ход русловых процессов хозяйственной деятельности.

### **Задачи исследования:**

1. Форматирование современных теоретико-методологических аспектов изучения руслового режима горных и равнинных рек.

2. Изучение наиболее неустойчивых и блуждающих частей рассматриваемых рек на предмет оценки особенностей развития русловых процессов на них.

3. Определение основных форм проявления русловых процессов на основе анализа физико-географических и геолого-геоморфологических условий, фиксируемых на их водосборах.

4. Оценка природных и хозяйственных факторов, обуславливающих развитие русловых процессов.

5. Установление причин бифуркации, их последствия с обоснованием типизации русел, форм руслового рельефа и их соотношений, взаимосвязей между морфометрическими характеристиками речных форм разных порядков.

6. Оценка рисунка гидрографических сетей рек и происшедших в них флуктуаций в зависимости от климатических изменений и определение классности притоков (по Стралеру).

7. Выявление особенностей распространения русел различного типа в зависимости от геолого-геоморфологического строения территории и условий прохождения руслоформирующих расходов воды.

8. Установление характера, направленности и интенсивности русловых деформаций в различных условиях.

9. Исследование пойм горных рек, их распространения и особенностей рельефа поверхности, к ним примыкающих.



10. Использование математических моделей разветвление рек (на примере р. Пяндж) на предмет задействия ее результатов для уменьшения риска затопления правобережной (таджикской) части русла.

11. Форматирование алгоритма действий (дорожной карты, матрицы) по учёту русловых процессов в инженерном обустройстве рек.

**Объектами исследования** являются реки: Пяндж, Зеравшан и Обихингоу с некоторыми притоками, деформация их русла, а также некоторые реки, подвергшиеся бифуркации в районах Мургаба и Сангвора.

**Предмет исследования** – особенности проявления русловых процессов на реках Таджикистана на фоне изменения климата и существенной антропогенной деятельности.

**Теоретические основы исследования.** При изучении отдельных аспектов рассматриваемой проблемы нами были использованы теоретические и методологические положения, русловедения, разработанные учёными гидрологами-географами С.Х. Абальянц, В.С. Алтуниным, Б.Б. Богославским, В.В. Бартольдом, Л.С. Бергом, М.А. Великановым, А.Н. Гостунским, Л.К. Давидовым, О.А. Дроздовым, Н.Е. Кондратьевым, И.Ф. Карасевым, В.М. Котляковым, О.К. Комиловым, Н.И. Маккавеевым, Д.Н. Наботовым, А.А. Соколовым, Р.С. Чаловым, В.Л. Щульцом, В.В. Цинзерлингом, Badrul A., Iskandar S.M., Hazleen A., Kesserwani G. и др.

#### **Научная новизна работы.**

1. На основании анализа условий руслоформирующей деятельности и форм проявления русловых процессов на горных реках в работе рассмотрены особенности развития русловых процессов на горных реках.

2. Установлено влияние на русловые процессы геолого-геоморфологических и физико-географических условий и степени антропогенных воздействий на русла рассматриваемых рек.

3. Дано описание морфологии русел и пойм горных рек, выявлена связь морфологии с динамикой русел. Выявлено наиболее неустойчивые участки рассмотренных рек.

4. Предложена новая классификация типа русел горных рек.

5. Проведена бонитировка рек (определение классности притоков рек по Стралеру) Пянджа, Зеравшана и Обихингоу.

6. Выполнено распределение площадей бассейнов рек в зависимости от диапазона высот: Пяндж (от 200 до 7000 м. абс.), Зеравшан (от 800 до 5599 м. абс.), Обихингоу (от 1000 до 7495 м. абс.).

7. В ходе исследования рассматриваемых бассейнов было обнаружено 12 проявлений бифуркации.

8. Предложена математическая модель регулирующего расхода воды в протоках при разветвлении.

#### **Положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Изучение руслового режима горных и равнинных участков рек с теоретико-методологических позиций привело к следующим практическим приложениям:

- формирование русел горных рек имеет краткий (до суток и более), по сравнению с равнинными, временной лаг (период);

- явление сортировки терригенного материала по длине рек укладывается в современные теоретические разработки и характеризуется отложением крупнообломочного материала в верховьях, а твёрдых частиц меньшего диаметра в низовьях рек;

- скорректирована существующая классификация русловых процессов на реках научных школ МГУ и ГГИ путём добавления нового вида «устойчивое русло с устойчивыми препятствиями» которое может как условное обозначение послужит драйвером на топографических картах.

- Реки Пяндж, Зеравшан и Обихингоу имеют направленность от свободного развития русловых процессов к ограниченному и наоборот, что связано с геоморфологическим строением и составом отложений в русле.

- На участках свободных русловых процессов в высокогорьях в период прохождения высоких паводков и наводнений, интенсивность русловых

деформаций достигает максимума и связаны они в основном с селевыми явлениями.

2. Основными факторами антропогенного воздействия на изменение русловых деформаций рек Пянджа и Зеравшана являются строительство берегозащитных укреплений и заводов по переработке щебня в руслах рек, мостовых переходов и водозаборов. Они становятся основными причинами локальной неустойчивости гидроэкологического состояния русла реки.

3. Состав, структура и формат алгоритма действий по учёту русловых процессов в инженерном обустройстве рек, включая и математическую модель разветвления рек, предлагается проектировщикам и эксплуатационникам-русловикам для использования в работе.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.** Она заключается в предложении ввести новый вид классификации к ранее существующим классификациям речных русел и определении особенностей деформации русла горных участков рек, с учётом геоморфологические особенности речных русел широтного простирания.

**Практическая значимость исследования.**

1. Предложенная в работе новая классификация рек – «русло с устойчивыми берегами и устойчивыми препятствиями» в виде дополнения к ранее существующим классификациям ГГИ и МГУ позволяет в дальнейшем принять его как условное обозначение на топографических картах для горных рек. Они могут послужить хорошим указателем для туристов и исследователей при прохождении ими горных рек.

2. Учёт типов русловых деформаций совместно с выявленными региональными особенностями руслоформирующей деятельности малых рек позволит более обоснованно планировать размещение промышленных и сельскохозяйственных объектов вблизи рек, предвидеть и предотвращать негативные последствия хозяйственной деятельности на водосборах и в долинах рек.

3. Явление бифуркации также имеет прикладное значение. Перенаправив один из протоков в другой, в бассейне которого много пахотных земель и нехватка воды, можно тем самым снизить дефицит воды на них. Перенаправление протоков у точек бифуркации не трудно.

4. Полученные результаты могут быть применены для научно-исследовательских проектов, при прибрежных строительных и берегоукрепительных работах, в научных работах и исследованиях с учётом климатических изменений и антропогенной деятельности, в прогностических целях и т.д.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Содержание диссертационной работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 25.00.27 - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия:

1. Теоретические и методологические основы гидрологии, гидрографии, речного стока, лимнологии, русловых и устьевых процессов, гидрохимии, гидроэкологии.

6. Вековые, многолетние и сезонные проявления русловых процессов в различных природных условиях, проблемы оценки, расчёта и прогноза вертикальных и горизонтальных деформаций русел, географические особенности руслового режима рек с учётом влияния хозяйственной деятельности, экологические проблемы русловедения.

7. Механизм устьевых процессов, особенности этих процессов в различных природных условиях, физические основы оценки, расчёта и прогноза развития устьевых областей рек с учётом естественных и антропогенных факторов, предупреждения (регулирования) опасных гидрологических процессов в дельтах и на устьевом взморье, деградация аквальных и наземных устьевых экосистем.

10. Разработка научных основ обеспечения гидроэкологической безопасности территорий и хозяйственных объектов, экономически эффективного и экологически безопасного водопользования и

водопотребления, планирования хозяйственной деятельности в областях повышенного риска опасных гидрологических процессов, защиты водных объектов от истощения, загрязнения, деградации, оптимальных условий существования водных и наземных экосистем.

11. Разработка методов расчёта и прогноза характеристик стока воды, взвешенных и влекомых наносов, растворённых веществ для разного ранга водосборных территорий; изменчивость речного стока, характеристик русловых, устьевых и лимнологических процессов; методы оценки влияния хозяйственной деятельности (многолетние и сезонные регулирование, изъятие стока, агро –и лесотехнические мероприятия) на сток и гидрологические процессы.

12. Разработка методов математического моделирования гидрологических и гидрохимических процессов.

**Степень достоверность результатов** исследования обеспечена:

- применением существующих современных методов исследования;
- использованием большой базы данных по исследуемым бассейнам;
- задействованием современных средств и технологии дистанционного зондирования земли;
- одобрении материалов исследования на научных семинарах и конференциях различного уровня;
- полученными результатами физико-математического моделирования явления бифуркации.

**Личный вклад соискателя.** Он заключается в том, что проведена работа по сбору и обобщению многолетних данных гидрологических и гидрографических наблюдений за период 2017-2022 гг., подбору архивных и современных картографических материалов, сбору материалов в экспедиционных условиях, обработке результатов полевых рекогносцировочных обследований и гидроморфометрических съёмки, выполненных автором в течение 2017-2022 гг.

Большой объём фактического материала был собран лично автором или при его непосредственном участии во время зимних и летних полевых работ. В совместных публикациях доля личного вклада соискателем составляет до 60-80%.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались на Международных научно-практических конференциях (НПК) «Вопросы социально-экономического и инновационного развития территорий, рационального природопользования и туризма в современных географических исследованиях». (Нукус, 2021); «Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии и разработки месторождений полезных ископаемых Таджикистана и сопредельных территорий», посвящённой 80-летию со дня рождения заслуженного работника Таджикистана, доктора технических наук, профессора, академика Инженерной академии РТ О.К. Комилова (Душанбе, 2022); Республиканской НПК «Экологические проблемы природных зон Республики Таджикистан», посвящ. Дню экологического образования, Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук, Международному десятилетию «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 гг.» и 80-летию доктора биологических наук, проф. А. Эргашева (Душанбе, 2022).

Материалы исследований в ходе работы передавались Комитету по ЧС и ГО при Правительстве РТ, где их использовали в практической деятельности для предотвращения опасных природных явлений (ОПЯ).

**Опубликование результатов диссертации.** Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 15 статьях, в том числе 3 статей в рецензируемых журналах ВАК при Президенте РТ.

**Структура и объём диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованной литературы из 131 наименований.

Общий объём работы составляет 165 страницы компьютерного текста, в ней содержится 55 рисунка и фотографий, 13 таблиц.

В первой главе «**Современные теоретико-методологические аспекты изучения руслового режима горных и равнинных рек**» приведены обзор литературы, развёрнутые материалы и методы исследования, условия формирования русел рек, водный и связанный с ним уровенный режим рек, а также виды русловых деформаций рек и классификация речных русел.

Глава 2 «**Внешние и внутренние факторы фуркации рек**» посвящена изучению проявления бифуркаций на реках и озёрах Таджикистана, их последствиям, а также причинам изменениям гидрографических сетей рек страны.

В главе 3 «**Моделирование разветвление рек**» приведены результаты моделирования гидроэкологической устойчивости речных бассейнов Таджикистана с рекомендациями по их практическому использованию.

Глава 4 «**Форматы и содержание особенностей руслового режима на реках**» посвящена изучению специфики русловых процессов в реках Зеравшан, Обихингоу, Пяндж (нижнее течение), а также их учёте при инженерном обустройстве этих и других рек.

В заключении обобщены основные результаты диссертационного исследования.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, доктору физико-математических наук, академику НАН Таджикистана Фарходу Рахими за помощь и поддержку на всех этапах работы. Автор искренне благодарен также коллегам по работе за ценные советы, всем лицам, оказавшим большую помощь при написании работы.

**Основная информационная и экспериментальная база** - данные натурных исследований, выполненных на реках Таджикистана экспедициями научно-исследовательской группы Отдела географии и дистанционного зондирования НАНТ, а также литературные, картографические источники, материалы сетевых наблюдений и спутниковые фотосъёмки.

Для изучения явления бифуркации автор побывал у языка ледника Саидои Насафи (ранее назывался Баралмас), у истоков реки Карашура,

Файзабадском районе, Мургабском районе ГБАО, на устьях рек Вахш и Пяндж. Также для изучения состояния берегов, диссертант прошёл вдоль реки Зеравшан от г. Пенджикента до языка ледника Зеравшан.



## **ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ РУСЛОВОГО РЕЖИМА ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ РЕК**

Гидроэкологические условия развития гидрографических сетей во многих странах мира изучены и изучаются до сих пор, так как гидрографическая сеть не остаётся постоянной. В зависимости от природных катаклизмов, антропогенных воздействий бассейны многих рек изменяются. Также многие бассейны рек являются трансграничными и территории государств распределены между этими бассейнами, что затрудняет изучение природно-геологических, гидрографических и гидроэкологических особенностей ряда бассейнов.

К примеру, хотя территория каждого государства и расстояния, сопредельные с другими государствами, давно определены, но из-за некоторых природных процессов эти распределения могут изменяться, что приводит к политическим спорам между государствами.

Таджикистан – горная страна и притоки всех её рек берут своё начало с этих гор. Реки бывают от самых малых до средних и больших и располагаются в диапазоне высотных отметок от 298 до 7495 м абс. Около половины территории республики находится на высотах выше 3000 м абс., где горы занимают 93% территории страны [74]. Происходящие на них процессы, в том числе и изменения русловых режимов в условиях гор и равнин, требуют тщательного изучения изданной до начала исследований научной литературы, материалов и методологии условий формирования русел, оценки водного и связанного с ним уровенных режимов рек в условиях гор и равнин, а также исследования русловых деформаций рек на предмет разработки классификации речных русел.

## **1.1. Обзор литературы, развёрнутые материалы и методологии исследования**

Особенности формирования стока основных рек Таджикистана и их бассейнов подробно описаны в работе У.И. Муртазаева и Д.Н. Бобиева [58].

Данные о метеорологических параметрах, количестве твёрдых и жидких осадков - источника ледников и снега и о ледниках на территории Таджикистана приведены в работах [52, 60, 62, 70, 78, 108 и др.].

О количестве озёр РТ указывается в ряде работ [44, 64, 69, и др.]. Также автором написано ряд статей по озёрам на территории Таджикистана [2-А, 4-А, 7-А, 8-А, 9-А, 12-А, 15-А,]. О действующих до 2020 г. водохранилищах Таджикистана написано в работах [57, 61].

О формировании русел больших рек, геоморфологических факторах данного процесса и образовавшихся после этого сложных разветвлений написано в работе [97 и др.], в том числе по р. Вахш - в работе [82].

О взвешенных наносах и смыва береговой части и питание рек СА описано в работах Щегловой О.И. [105, 106].

Известно, что реки делятся на крупные, они имеют постоянный мощный водоток, а также на малые реки, которые имеют незначительную протяжённость. В частности, Р.С. Чалов описывая русловые процессы, подчёркивает, что иногда водотоки бывают бурными, но временными, что чаще всего проявляется в горных районах после прохождения ливней, в результате снеготаяния.

При этом величина водосбора в горной части не играет важной роли в образовании стока. Это объясняется тем, что вертикальные градиенты факторов стока во много раз больше горизонтальных (широтных) [102, 103].

Связи между эрозией и аккумуляцией во всех звеньях потоков, текущих по поверхности суши, и объективность существования подобной закономерности доказаны в работах Р.С. Чалова [91, 92].

О временных водотоках и причинах их появления, а также о формировании оврагов написано русскими учёными А.П. Павловым и В.В. Докучаевым [32] и др. О селевых паводках и связанные с ним процессы на территории Таджикистана написано много статей [9, 27, 75, 81, 99, 100, 101, 109, 110 и др.]

В зависимости от стадии развития рек, поперечные профили их долин бывают различным. Их разновидности и виды описывают Г.П. Горшков, А.Ф. Якушова [28].

Результаты многолетних формирований русла и создаваемые им специфичные параметры, в частности, распределение наносов, глубина, кривизна, ширина, являются взаимосвязанными с соответствующими гидравлическими элементами реки – расходами воды, скоростью, уклонами, турбулентностью и сопротивлением силы потока, что дано в работе С.Т. Алтунина [8].

Наиболее распространённые формы речных русел в горах Таджикистана приведены в работе О.К. Комилова [41]. Иные детали развития речных долин, особенно в горах, раскрыты в работе С.А. Сладкопепцева [76].

О скорости врезания рек в Средней Азии, на Кавказе и других горных районах, геоморфолог А.А. Никонов собрал большое количество данных [65]. Скорости врезания в горных реках значительно выше, чем горизонтальная деформация, исследовал С.К. Хакимов [84].

Оползни в верховьях р. Зеравшан подробно описаны в работе Х. Абророва [3, 46]. Следы оползней можно заметить также в Талоки Марзич, Работ, Гизани Поён (Айнинский и Пенджикентский районы) и в других местах Зеравшанской долины. Также на древних исторических картах путешественники указывают озеро в средней части Зеравшанской долине, его существование указано также в книге В.В. Бартольда, в то время озеро находилась выше города Буджакента (нынешнего Пенджикента) [10].

При изучении отдельных аспектов рассматриваемой проблемы нами применялись методологические и теоретические положения, которые были

разработаны учёными, гидрологами-географами, инженерами; С.Х. Абальянц, В.С. Алтуниным, С.Т. Алтуниным, Б.Б. Богославским, В.В. Бартольдом, Л.С. Бергом, М.А. Великановым, А.Н. Гостунским, Л.К. Давидовым, О.А. Дроздовым, Н.П. Джонмахмадовым, Н.Е. Кондратьевым, И.Ф. Карасевым, В.М. Котляковым, К.О. Комиловым, У.И. Муртазаевым, М.Х. Мухаббатовым, Н.И. Маккавеевым, А.С. Ниёзовым, Я.Э. Пулатовым, А.А. Рауфовым, Р.Н. Соколовым, И.Г. Тахировым, А.Р. Фазыловым, Р.С. Чаловым, Г.Д. Купайи, В.Л. Шульцем, В.В. Цинзерлингом, В. Хамидовым, А. Badrul, S.M. Iskandar, A. Hazleen, G. Kesserwani и многими другими [1, 39, 45, 66 и др.].

Ими было установлено, что основными причинами речных деформаций являются аллювиальные россыпи в поймах, которые при межени образуют полосовидные залежи, протягивающиеся параллельно долине реки, длиной от нескольких километров до 10-20 км, иногда больше. В практике их используют для поиска полезных ископаемых, концентрирующихся главным образом в основании (в нижней части) аллювия [65].

Расширенный материал исследования вопросов, связанных с темой нашей работы, показал следующее.

Большие реки Западного Памира и Памиро-Алая; Пяндж, Гунт, Шахдара, Бартанг, Вахш, Кызылсу (Алайская), Обихингоу, Зеравшан и другие протекают по обширным продольным межгорным долинам, вырабатывая в их днищах современные речные долины [40].

Под воздействием экзогенных процессов сформировались крайне разнообразные формы рельефа, которые были сгруппированы в две основные категории: денудационную и аккумулятивную [79].

Ещё в 1914-1919 гг. В.В. Цинзерлинг [88], наблюдая на Амударье процесс горизонтального перемещения линии берега (дейгиш), отмечал, что началу горизонтального перемещения обычно предшествуют отклонения стержня реки от среднего положения до соприкосновения с одним из берегов.

Одновременно, дейгиш захватывает не всю длину береговой полосы, а только отдельные её участки. Так, например, в районе Тахиаташа (на длину 220

км) общая протяжённость размыва оказалась равной 12-16% от полной длины берега, который подвергался действию [7]. Этот процесс особенно актуален в низовьях Амударьи. Из вышеуказанных материалов следует, что при таком неустойчивом русле вполне вероятны и дальнейшие изменения русла р. Амударьи [10-А].

Г.П. Горшоков и А.Ф. Якушова [28] указывают на то, что надпойменные террасы - это продукт тектонического движения. В Зеравшанской долине и долине р. Обихингоу встречаются долины, у которых коренные породы находятся на одном с ними уровне. На разных берегах наблюдаются надпойменные террасы, образованные в результате селевых отложений (псевдотеррасы).

Воздействие экзогеодинамических процессов на природную среду бассейна р. Зеравшан и значительные селевые проявления в Таджикистане, которые являются основными причинами русловых деформаций, описываются в работе А.А. Каримова [38], где перечисленные территории расположены в рассматриваемой нами регионе.

Русла рек характеризуются следующими характеристиками: поперечными и продольными профилями, перераспределением глубин потоков, плановыми очертаниями. Русло реки подвержено деформации или изменению в каждый момент времени [50].

Проходящие в руслах рек потоки изменяют очертания этих русел, также меняется характер продольного профиля рек и распределение в реке глубин. Кроме того, изменение формы русла влечёт за собой перераспределение течений рек и их скоростей. Соответственно, русло реки и поток воды в ней взаимосвязаны, причём одним из выражений данной взаимосвязи являются русловые деформации [48].

Направления процессов деформации русел рек определяются взаимоотношениями между транспортирующей способностью потока и расходами наносов, следовательно, прослеживается связь, как с комплексом природных условий данного участка реки, так и в целом водосбора [8].

Для существования реки необходимо такое количество воды, которое превысит испарение, фильтрацию в почву, транспирацию водной растительности и обеспечит размыв русла и наносные стоки, то есть движение твёрдых материалов, поступающих в водоток с водосбора, а также при эрозии русловых почв [53].

Регуляторами стока горных рек являются ледники, вся жизнедеятельность которых отражает условия рельефа и климата данной территории и оказывает самое благоприятное воздействие на жизнь равнинных территорий, нередко удалённых за сотни километров от гор [35].

Весь обратимый русловый процесс сводится к возникновению и развитию речных форм. Необратимый процесс точно так же проявляется через речные формы и по сравнению с обратимым обладает лишь дополнительным содержанием [72].

По мере нарастания жидкого стока перемещение наносов сопровождается развитием русловых образований и переотложением грунтовых масс, русло становится меандрирующим. Процесс меандрирования является внешним признаком перехода от эрозии бассейна и необратимых деформаций к переотложенным наносам в речном потоке. Далее, с ростом расхода воды, форма русла снова становится немеандрической, образуются прямолинейные однорукавные участки [36].

По А.П. Чайковскому [88], изменение русла реки зависит от силы, большого падения и скорости течения, а потому и большой энергией. Не имея достаточной силы, река не может выйти за пределы своего русла.

Первое определение понятия о русловых процессах (во второй четверти XX в.) дал учёный М.А. Великанов. С тех пор русловые процессы рассматриваются, как отдельная ветвь быстро развивающейся новой науки – «динамики русловых потоков» [93]. В иностранных литературных источниках, в частности, в англоязычных, русловые процессы определяют общим понятием - «флювиальные процессы» (fluvial processes).

Русло считается неустойчивым, если изменения в нём происходят за один год или несколько лет, и наоборот, русло считается устойчивым, если изменения можно заметить лишь за столетия [14].

В результате плановых деформаций русла формируются поймы с одной стороны, а с другой стороны – пойма есть та среда, где развивается русловой процесс. Таким образом, между русловыми и пойменными процессами осуществляется полная взаимосвязь, без выяснения которой нельзя попытаться понять ни тот, ни другой процесс [43].

Бифуркация, в качестве уникального гидрографического явления имеет свою особую историю. Впервые оно было открыто в Южной Америке, хотя на исторических картах среднеазиатских рек, таких как Амударья и Сырдарья, можно заметить бифуркации за долго до открытия А. Гумбольдта. Об этом явлении также можно встретить сведения в исторических источниках [10, 13, 25, 92, 132 и др.].

О явлении бифуркации и исследованиях разветвлений написано многими учёными, такими, как Н.И. Маккавеев (1948, 1955), M.G. Wolman (1957), О.В. Андреев, И.Я. Ярославцев, К.И. Россинский, И.А. Кузьмин (1958), R.K. Fahnestock (1963), И.В. Попов (1965), В.В. Ромашин (1968), Ф.М. Чернышева (1973), С.И. Пиньковский (1961, 1962), Р.С. Чалов, А.М. Алабян (1998), S.A. Schumm (1977), К.В. Гришанина (1969, 1992), Н.А. Ржаницын (1985), и многими другими.

Вопросы разветвления речных русел на отдельные рукава исследовали многие учёные, некоторые из них считают, что – разветвления русел на рукава – в основном прерогатива больших и крупнейших рек [91], этими же авторами была составлена карта разветвлённых рек СССР.

Но на территории горных стран, где в основном текут малые и средние реки, встречаются и ответвления, и разветвления [47, 115]. Впервые о проявлении бифуркации в высокогорьях (на высоте более 4000 м абс.) было упомянуто в 2018 году [63], на территории ИРА.

Единой теории, способной предсказать бифуркационную устойчивость в

реках, как с гравийным, так и с песчаным дном, всё ещё нет [113].

О физической неустойчивости процесса бифуркации и её причинах, связанных с распределением наносов, указано в работах [97, 114].

Рассматривая проявление фуркации на территории высокогорья, естественно возникает вопрос; какую практическую значимость может иметь такое явление природы на таких высотах?

Ответ на этот вопрос находится в книге Н. Хоналиева и Х. Мухаббатова [86], где указано, что в верховьях р. Аксу, на высотах около 4300 м абс., были обнаружены многочисленные выровненные поля со следами каналов (арыков). Это указывает на то, что в древние времена на этих территориях процветало земледелие. Из этих выводов следует, что климат высокогорья периодически сменялся.

Процессы, происходящие в руслах рек, имеют тесную взаимосвязь с природными особенностями территорий, по которым протекают реки, а также взаимосвязаны с факторами, характерными для каждой отдельно взятой территории. Основными факторами принято считать следующие: водные стоки и их характер, геолого-геоморфологическое строение речных долин и русел рек, стоки наносов, при этом водные стоки считаются активными факторами, которые находятся в постоянном движении, именно они оказывают основное влияние на процесс формирования русел рек, водные стоки характеризуются изменчивостью во времени и различными величинами. Пассивными факторами в данном случае являются рельеф и геологическое строение, но они имеют значение только в том случае, если по данному рельефу протекают реки. Также на руслообразование, кроме активных и пассивных факторов влияние оказывают и такие факторы, как: эрозионные и склоновые процессы, являющиеся местными или временными, мерзлота, растительность, ветра, ледовые явления [24].

Принцип взаимодействия потока и русла подводит нас к проблеме устойчивости русла, предложена В.М. Лохтиным [51], который предлагает для определения руслоустойчивости использовать соотношение сил сопротивления



эрозионным процессам и сил скоростных напоров, не принимая во внимание постоянные величины и заменяя квадрат скорости потока величиной уклона русла. К.Д. Гришаниным был предложен инвариант устойчивого русла в виде комплекса [31]. Обобщающая последняя форма критерия устойчивости русел рек предложенная Барышниковым Н.Б. справедлива, как для равнинных, так и для горных рек [12]. Также он отмечает, что межгосударственные договоры запрещают возводить гидротехнические сооружения, направленные на перенос фарватера к противоположному склону долины. К сожалению, эти договоры довольно часто нарушаются [11]. О критериях устойчивости речных русел также работал Бирюков В.С. [15].

## **1.2. Условия формирования русел горных и равнинных участков рек**

Высотные положения бассейнов рек Таджикистана являются основными особенностями их формирования. Основную роль в формировании стока рек играют рельеф и метеорологические элементы. Количество осадков возрастает и понижается температура воздуха с повышением высоты. Также с возрастанием высоты уменьшается испарение.

Как только появляется постоянный водоток, начинается формирование русла реки. Для существования реки необходимо такое количество воды, которое превысит транспирацию водной растительности, фильтрацию в почву, испарение, и обеспечит сток наносов и размыв русла, то есть движение твёрдых материалов, поступающих в потоки из водосборов и в результате эрозии почв из ложа реки. Можно также указать, что формирование и развитие русел рек является производным сложного сочетания различных факторов (почвенно-ботанических, гидроморфологических, геоморфологических, гидрологических, климатических), которые в природных конкретных условиях проявляются по-разному [31].

К основным условиям и факторам формирования речных стоков относятся следующие: геологические тектонические процессы, растительный

покров, гидрогеологические и почвенные условия, геоморфологические факторы (рельеф), климатические условия.

Более 50% годового стока Аральского моря формируется в пределах Таджикистана, и самая высокая водообеспеченность местных стоков отмечена здесь [59].

Гидрологи разделяют реки по грациям и классам. Эти деления рек по грациям и классам являются условными. Существуют и другие предложения по поводу деления и классификации рек. Понятия - длина реки и количество притоков, - также можно считать условными, так как приток может в любое время высохнуть или длина реки измениться.

Реки подразделяются на разные группы: во-первых, распределение рек по грациям и протяжённости, разделённые по шкале А.А. Соколова [77], во-вторых, другую классификацию рек по длине приводит В.Е. Водогрецкий [19], в-третьих, реки могут быть разделены на категории не только по длине, но и по их водности (среднегодовому расходу).

Реки Таджикистана по всем приведённым классификациям относятся к рекам от самых малых до средних по длине рек и по водности.

В Таджикистане на конец 2004 г. имелось 9 эксплуатируемых водохранилищ общим объёмом 15,34 км<sup>3</sup>, что составлял 13% среднемноголетнего стока рек бассейна Аральского моря. К 2020 г. намечалось увеличить число водохранилищ от 9 до 19 с общей площадью 682,36 км<sup>2</sup>, но построено было всего 2 водохранилища [57], сейчас водохранилищ в РТ 11 единиц [58].

Ещё древние римляне замечали «что некогда было равниной, превращаются текучей водой в долины, и горы от размывания стали равнинами» [20].

Геологическое строение и литологический состав рельефа значительно влияют на состав руслообразующих наносов, уклоны рек, в целом на форму долины. По мере прохождения рек через горные хребты, морены и структурные поднятия, сложенные относительно трудноразмываемыми породами

(пластичными, каменистыми), происходит сужение долины, русло реки приобретает большую устойчивость. Продольный профиль реки становится ступенчатым, что происходит за счёт увеличения уклонов в сужениях реки. В руслах рек образуются пороги и шивер, которые перегораживают русло рек, что связано с выходами горных пород. В сужениях рек крутые склоны долин складываются их горных пород, они являются источниками поступления крупнообломочных материалов в русла. Для рек, протекающих по моренным возвышенностям, характерны валунно-галечные наносы.

В русла рек при размыве водой песчаных террасных берегов в них скапливается значительное количество наносов, часто которое является избыточным, что вызывает образование неглубоких перекатов непосредственно ниже по течению, на больших реках в этом случае образуются сложные разветвления [97].

Но на территории Таджикистана в рассматриваемых нами реках наблюдается пойма у истоков. Ниже языка ледников у рек Пянджа, Зеравшана и Обихингоу наблюдается расширение долины, и аллювиальные отложения, образующие на некоторые расстояния пойму.

Иногда водотоки являются бурными, но при этом временными, что наблюдается в горных местностях, особенно после таяния снегов и после ливневых осадков [7-А]. Кроме того, вода, выпадающая в виде атмосферных осадков – снега, дождя, может просачиваться в земную кору, её верхние слои, формируя образование грунтовых вод, дающих начало рекам.

Поверхностный сток атмосферных осадков осуществляется или в форме тонких переплетающихся струек, густой сетью покрывающих склонов, или в форме линейно направленных мощных струй и потоков в рытвинах, оврагах и речных долинах.

Овраг начинает своё формирование с незначительной рытвины на склоне или борозды на почвенном слое. В последующем борозда или рытвина укрупняется, углубляется, расширяется в длину и ширину ниже и выше по склону (рисунок 1.1).



**Рисунок 1.1. - Исток ручья Арчамайдон (фото автора)**

Образующийся овраг имеет неровный продольный профиль, при этом устье зарождающего оврага не выходит на подножье склона, являющегося основанием размыва, как бы нависает над склоном, поэтому носит название висячего. При этом вершина оврага уходит по склону вверх, овраг как бы отступает назад. Данный тип эрозии получил название пятящейся, регрессивной эрозии. Далее овраг своим истоком подходит все ближе к водоразделу, а устье оврага приближается к основанию эрозии. В дальнейшем происходит углубление дна (тальвега) оврага вследствие интенсивной эрозии, по дну оврага происходит перенос мелкозернистого почвенного материала. Далее оврагообразование вступает в следующую стадию развития, что происходит после достижения базиса эрозии, вогнутая форма продольного профиля начинает изменяться на поперечную, овраг приобретает V-образную форму, склоны становятся более крутыми, легко осыпающиеся, стремящимися к достижению угла естественных устойчивых откосов. Со временем профиль оврага принимает в своей верхней части крутую форму, а в нижней части – очень пологую форму. Вода, которая периодически стекает по дну оврага, несёт

с собой мелкие, плохо окатанные и несортированные материалы, которые образуют вблизи устья оврага скопления, то есть конус выноса оврага.

Образование мощных временных водотоков в большинстве горных районов происходит в результате таяния ледников и снежников в горах в летний период, а также в результате мощных, но кратковременных грозовых ливней. Данные плотные потоки являются селевыми потоками. В частности, если в потоке содержание обломочных материалов превышает 80%, данный поток уже является грязекаменным, а не водным. В грязекаменном потоке каменные глыбы диаметром до 2 м и более не тонут, а передвигаются по руслу потока.

Также в горных территориях, помимо грязекаменных, водных и селевых потоков распространены временные водотоки, которые формируются в период таяния снега или в результате сильных ливней (рисунок 1.2.). Данные водотоки принято разделять на три части: 1) верхняя часть – непосредственно водосборный бассейн; 2) средняя часть – стоковый канал; 3) нижняя часть – выносной конус или разгрузочный бассейн.



**Рисунок 1.2. - Временной водоток у истоков р. Матча (фото автора)**



Реками производится значительная аккумулятивная и эрозионная работа. На режимы рек и их полноводность значительное влияние оказывают климатические факторы и способы питания рек. В зависимости от поступления в реки водных масс, на всех реках отмечаются несколько периодов: период половодья – паводок, высокое стояние водных масс, и период межени – то есть маловодья. Период половодья на равнинных реках отмечается при интенсивном таянии снегов в весенний период, для горных рек период половодья в основном наступает летом при интенсивном таянии ледников и снежников в горах.

В реках движение воды характеризуется на основании трёх факторов: 1) крутизной руслового уклона; 2) расходами воды; 3) формами русла реки. Соответственно, чем больше крутизна руслового уклона, тем вода в реке течёт быстрее, данный фактор характерен для рек Таджикистана.

В руслах рек происходит отложение (аккумуляция) материала, во время половодья аккумуляция происходит по берегам рек, а также отложения скапливаются в устьях рек, образуя конусы выноса материала, или в дельте рек (согласно букве греческого алфавита  $\Delta$  – дельта), что можно увидеть на рисунке 1.3.

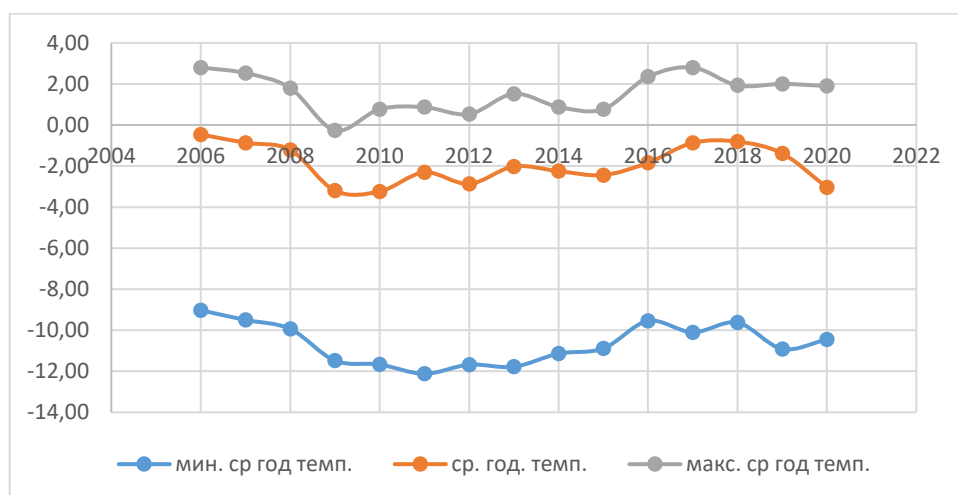


**Рисунок 1.3. - Дельта р. Рама, верховья р. Зеравшан, лето 2019 г. (фото автора)**

Как видно из рисунка 1.3., дельта аллювиального отложения в устье р. Рама настолько большая, что она вытолкнула реку Зеравшан на правый берег.

Массовое отложение наносов на основное русло р. Зеравшан со стороны притоков первого порядка в верховьях наблюдается за последние 8-10 лет. Анализируя данные метеостанции «Анзоб» (абс. высота 3337 м.), установили, что среднегодовая и среднегодовая максимальная температура в этом регионе превышала имели значительный рост в период с 2006-2007 гг., 2013 г. и 2016-2018 гг. Именно в эти периоды наблюдался и рост русловых деформации в верховье р. Зеравшан, зафиксированный МЧС и ГО РТ, что было связано с резким ростом таяния ледников в этот промежуток времени (рисунке 1.4.).

Накопление руслового аллювия происходило в условиях постоянно изменяющегося русла, вода в нём имела максимальную энергию, в связи с чем аллювий был представлен в основном грубыми материалами – от крупногалечного материала до разнозернистых песков.



**Рисунок 1.4. - Среднегодовая минимальная, средняя и максимальная температура, зафиксированная метеостанции «Анзоб» с 2006 по 2020 гг. (рисунок составлен автором)**

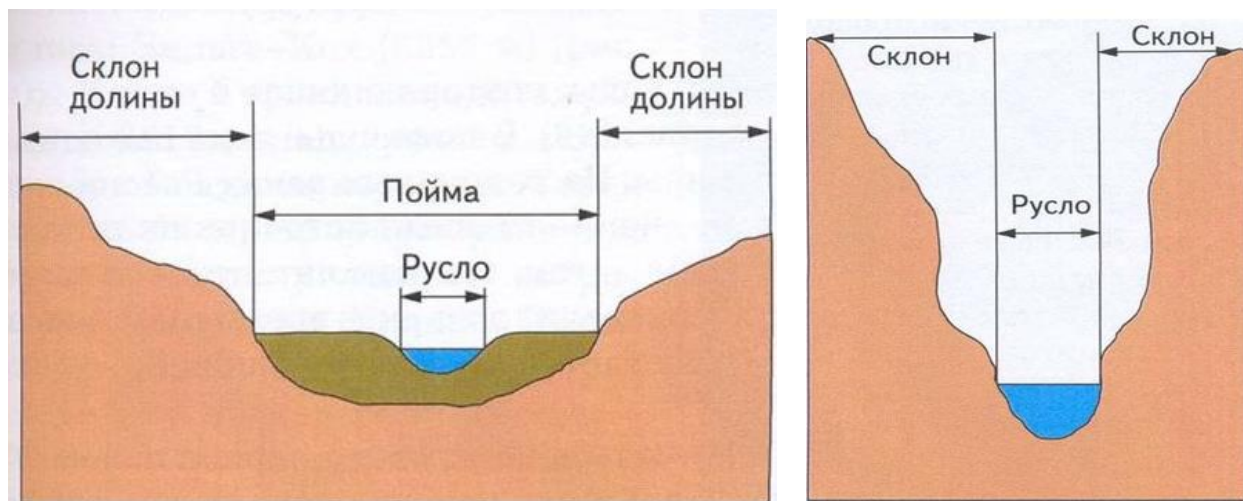
На горных участках рек формируются параболические, трапецеидальные, прямоугольные, близкие к эллиптическим и неправильные формы профилей, причём наиболее распространёнными в аллювиальной среде являются параболические [41].

Следует отметить, что в горных реках также наблюдается резкое изменение поперечного сечения за короткое время. Примерами таких случаев является сход селя или оползня у берегов рек, в результате которых одна из сторон русла заметно изменяется.

Эти изменения русла рек в большинстве случаев носят временный характер, так как в сезон паводка русло реки, смывая накопившиеся наносы, вернётся в исходное положение.

При формировании русла естественных потоков одним из основных факторов необходимо назвать способность водных потоков размывать грунты русел, переносить в потоке размываемые частицы материала, которые затем откладываются в различных местах реки при различных условиях. Реки, сток которых зарегулирован, отличаются большей устойчивостью русла.

На рисунке 1.5. показан поперечный профиль равнинной и горной реки. Основное различие в том, что у горной реки почти отсутствует пойма. Но как видно из рисунка 1.3., у истоков некоторых горных рек также существует пойма.



Равнинная река

Горная река

**Рисунок 1.5. - Схема речных долин (рисунок с интернет ресурса)**

На территории РТ встречаются равнинные, горные и смешенные типы рек.



Если оба берега реки неустойчивые, то разрушается и противоположный берег, где конус выноса от реки, в которую сошёл сель, выталкивает русло.

Ежегодными паводками перекрываются прирусловые отмели, являющиеся наиболее низкими, то есть поймы, а при прохождении мощных половодий происходит перекрытие высоких пойм – наиболее высоких участков, расположенных в низких долинах. Аллювий пойм, в состав которого входит тонкий материал в виде взвеси в воде – это глины, суглинки, тонкие пески, в основном по мощности составляет 1-2 м и покрывает крупнозернистый аллювий русла.

В горных реках аллювиальные отложения имеют значительные отличия от равнинных аллювиальных отложений. Так, аллювий горных рек более грубый, плохо отсортирован, в нём находятся пролювиальные горизонты из материалов селевых или грязекаменных потоков.

Реки обычно берут начало в высокогорьях вблизи ледников, где одни имеют крутые склоны, а другие - более пологие уклоны русел, затем переходят в горную часть, расположенную в котловинных долинах. Там уклон русла гораздо больше, чем в предгорных территориях. Окончательно вырвавшись из гор, реки текут по равнинно-предгорной зоне, где рельеф является слабо расчленённым, при этом течение воды в реке значительно замедляется.

В формировании горных аллювиальных отложений основное значение имеют климатические условия и новейшие тектонические процессы, определяющие гидродинамику потока, скорость течения, расход воды, характер уклона русла, а также турбулентно-вихревые характеристики течения воды в русле рек. Горные потоки имеют значительную эродирующую силу, они способны переносить большие объёмы обломочных материалов, достигающих до 50-60 кг/м<sup>3</sup>, в то время, как обломочный материал в равнинных реках составляет всего около 0,5-1.0 кг/м<sup>3</sup>.

Ниже по течению размер наносов уменьшается. Уже к устью реки располагаются самые маленькие частицы. Чем длиннее река, тем меньше

становятся наносы в конце рек. Осаждение наносов или аккумуляция также существенно влияют на формирование русла реки.

В горных местностях, с преобладанием трудноразмываемых горных пород, происходит формирование узких долин – это ущелья, каньоны.

Согласно данным, полученным геоморфологом А.А. Никоновым [65], в современных горах на горных реках отмечается незначительная скорость врезания рек, составляющая ежегодно в среднем 0,5-7,0 мм.

Однако другие исследования показывают, что скорость врезания рек в горах значительно выше. Так, С.К. Хакимов по данным о расходах воды рек Западного Тянь-Шаня (Пскем, Унам, Чаткал и др.) за несколько десятков лет установил, что реки врезаются со скоростью 1-7 см в год [85]. С максимальной скоростью реки врезаются исключительно в узких ущельях, в которых берега стеснены скалами, а русла не имеют валунного или галечного покрова. Благодаря большим скоростям течения (до 5 м/с и более), во время паводков наносы транзитом проходят через такие участки. Поток тут контактирует со скальным ложем, а влекаемые водой галька и валуны разрушают горные породы. Такое явление называется корразией, способствует ускорению врезания реки.

Скорость размыва берегов некоторых рек на равнинах в десятки и сотни раз превосходит скорость врезания рек. В результате происходит формирование долин с широкими террасами и поймами.

Ещё в 1914-1919 гг. В.В. Цинзерлинг [88] наблюдал на Амударье процесс горизонтального перемещения линии берега (дейгиш). Он отмечал, что началу горизонтального перемещения обычно предшествуют отклонения стержня реки от среднего положения до соприкосновения с одним из берегов. Прилегающая к берегу часть русла начинает быстро углубляться и в течение продолжительного времени дно русла у берега размывается на глубину 8-17 м при отвесном и даже обратном откосе прилегающего берега. Огромные глыбы земли отрываются от берега и обваливаются в реку с громовым грохотом, который слышен в ночное время за десятки километров. Оторвавшаяся масса

земли раздробляется под ударами водных струй на мельчайшие частицы, которые относятся вниз по течению, где обычно на расстоянии 0,5-2 км от обвала они вновь осаждаются, образуя остров в русле реки или новый берег. Размывающая способность Амударьи очень велика. Известны случаи размыва береговой полосы длиной 2-3 км и шириной 0,5 км в течение 3-4 недель. Скорость размыва в поперечном сечении достигает до 130 м в час.

Основательным изучением этого явления занимались такие известные учёные, как С.Т. Алтунин, А.Н. Гостунский, М.В. Потапов и др. Смещение Амударьи вправо в районе Турткуля началось примерно с 1889 г. и происходит по настоящее время; там интенсивно смывается правый берег и наращивается левый. Масштабы данного смещения поистине грандиозны. В отдельные же годы на отдельных коротких участках явление дейгиша проявляется ещё более резко. По наблюдениям С.Т. Алтунина, в 1946 г. в том же районе была смыта полоса около 300 м на длине 1000 м. Одновременно, дейгиш захватывал не всю длину береговой полосы, а только отдельные её участки. Так, например, в районе Тахиаташа (на длине 220 км) общая протяжённость размыва оказалась равной 12-16% от полной длины берега, который подвергался дейгишу [7].

До сих пор между учёными идёт спор о прежних руслах р. Амударьи. Некоторые придерживаются мнения о том, что в древние времена р. Амударья впадала в Каспийское море, а другие наоборот, что воды Амударьи с самого начала вливалась в Аральское море [10-А].

Необходимо указать, что при понижении базиса эрозии врезание реки будет осуществляться только в том случае, когда её уклон в нижнем течении будет меньше, чем уклон, вызванный освобождением дна приёмного бассейна из-за потока воды. В противном случае уменьшение эрозионного базиса может вызвать интенсивную аккумуляцию материала, который приносят воды реки за счёт снижения уклонов продольных профилей и, соответственно, удлинения русла реки.

Формирование и развитие речных долин в горах можно разделить на пять групп: тектонические, дождевые, снеговые, эрозионные и ледниковые.

### **1.3. Водный режим рек и классификация русловых процессов на них**

Из пяти существующих фаз, характерных водному режиму (паводок, межень, половодье, ледостав и ледоход) всех можно встретит на территории Таджикистана. Иногда даже в один сезон можно встретить два режима (половодье и паводок) одновременно, что иногда приводит к катастрофическим последствиям. Явление ледохода на территории Таджикистана можно встретить на реках только в очень холодные зимы.

В горных районах, вместе с повышением местности происходят значительные изменения в условиях питания рек – возрастает роль снегового питания, уменьшается подземное и в ряде районов прибавляется ледниковое. Эти изменения в ряде районов носят различный характер.

Внешние и внутренние факторы флуктуации являются основными в русловом режиме рек. В последние годы из-за изменения климата (потепление) внешние факторы (климатические изменения, землетрясения, экспозиции гор, антропогенные воздействия и др.) являются основными факторами флуктуации в русловом режиме рек. Последствия этих изменений мы видим посредством средств массовой информации, и сами иногда становимся свидетелями таких изменений.

Следы древней гидрографической сети могут быть найдены в современном рельефе в виде морфологически выраженных обширных древних долин, используемых современными реками и покинутых ими, ныне сухих долин, остатков древнеаллювиальных отложений, погребённых русел и старых береговых уступов.

Водные режимы рек определяются регулярно повторяющимися изменениями в определённых промежутках времени взаимосвязанных характеристик водных потоков - скоростей течения, уклонов водных поверхностей, уровней воды, расходов воды. В водных режимах также необходимо выделять годовые циклы, которые отражают внутригодовую смену климатических элементов, неравномерность водотока в течение года,

изменения характеристик водных потоков из года в год, которые обусловлены многолетними колебаниями водостоков.

Для народного хозяйства страны важный интерес представляют исследования, посвящённые изучению водных режимов рек. Данные исследования также проводятся в целях изучения гидрологических режимов рек, сюда входят: режимы растворенных веществ, ледовые явления и температурные режимы, интенсивность руслового преобразования, движения наносных материалов и др.

Водохозяйственные мероприятия могут изменить как величину водного стока, так и его внутригодовое распределение [56].

В пределах горной области реки протекают обычно в узких долинах со слабо развитой поймой. Сравнительно невелики поймы рек в равнинных областях при отсутствии интенсивно развитого орошения и у истоков некоторых рек.

В условиях горной области Средней Азии основными факторами, обуславливающими внутригодовое распределение стока, являются климатические факторы, в свою очередь определяемые рельефом водосбора и в первую очередь его высотными характеристиками [104].

Вертикальные градиенты температур создают запаздывание начала снеготаяния с увеличением высоты, в результате которых паводки в реках с высокими водосборами наблюдаются позже. Для примера приводим в виде таблицы 1.1 и диаграммы среднегодовые расходы воды по месяцам рек Пяндж, Зеравшан и Обихингоу

Таблица 1.1. - Среднемесячные расходы рек, м<sup>3</sup>/сек.

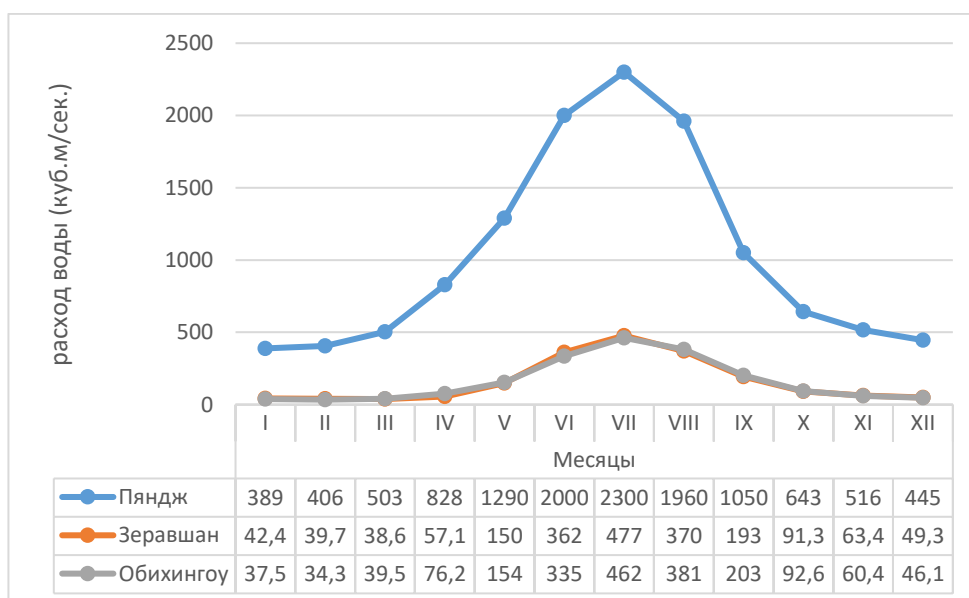
Реки:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Пяндж	389	406	503	828	1290	2000	2300	1960	1050	643	516	445
Зеравшан	42,4	39,7	38,6	57,1	150	362	477	370	193	91,3	63,4	49,3
Обихингоу	37,5	34,3	39,5	76,2	154	335	462	381	203	92,6	60,4	46,1

В результате этого снеготаяние носит затяжной характер, как следствие, паводок снеготаяния сильно растянут и обычно невысок.

Увеличение расхода стока способствует росту русловых деформаций как вертикальных, так и горизонтальных. Смыв берегов, затопление пойм, увеличение аккумуляции и других русловых и прирусловых изменений в основном связаны с сезоном половодья и паводков, как в низовьях, так и у верховья горных и равнинных рек.

О гидрологических характеристиках некоторых рек Таджикистана также приводится в работах [34].

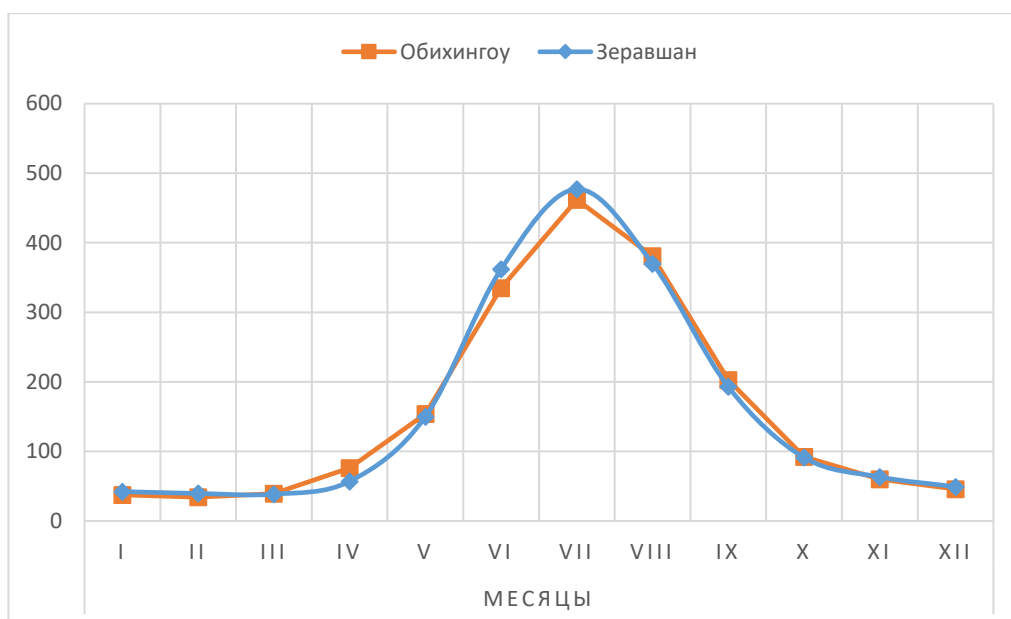
Среднегодовые расходы стока рек Пяндж, Зеравшан и Обихингоу по месяцам приводится в рисунках 1.6. и 1.7.



**Рисунок 1.6. - Среднегодовые расходы стока рек Пяндж, Зеравшан и Обихингоу (по месяцам) (рисунок составлен автором)**

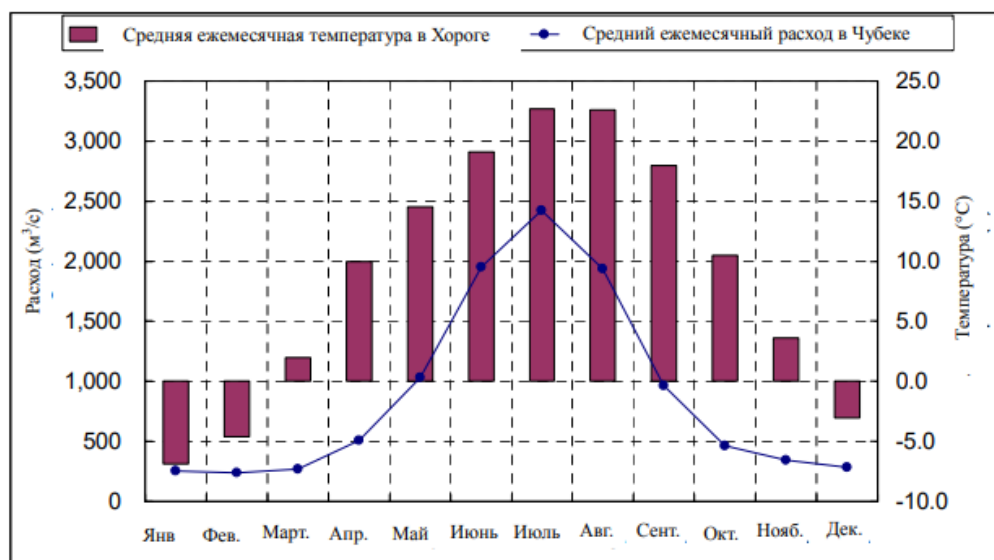
Гидрография среднего, максимального и минимального расходов воды по многолетним данным р. Пяндж по постам Ишкашим и Нижний Пяндж подробно описана в монографии С.О. Мирзохоновой [55].

Водный режим р. Пяндж значительно отличается от режима рек Зеравшан и Обихингоу. Но водные режимы рек Зеравшан и Обихингоу почти одинаковы и на диаграмме они накладываются друг на друга. Для того, чтобы увидеть эту разницу, в отдельности приводим их на рисунке 1.7.



**Рисунок 1.7. - Среднегодовые расходы стока рек Зеравшан и Обихингоу (по месяцам) (рисунок составлен автором)**

Также режим р. Пяндж в виде диаграмм приводится в отчётах КЧС и ГО Республики Таджикистан с 1967 по 2005 гг. [112], где половодье существенно отличается от предыдущих годов (рисунок 1.8.).



**Рисунок 1.8. - Средние величины ежемесячных расходов воды и температура воздуха р. Пяндж (1967-2005 гг.) (рисунок из [111])**

Отметим, что на этой диаграмме указаны средние величины расхода, а максимум паводков в некоторых годах намного превышает 4000 м³/с (1998 (июль), 2005 (июнь, июль), 2015 (июль) и т.д.). Эти паводки наносят

значительный ущерб народному хозяйству Таджикистана в районах низовий р. Пяндж.

Сток после выхода на равнинные территории из горных местностей начинает разбираться на орошение, особенно интенсивно в период паводка. Но в межгорной котловине уровенный режим рек до выхода из неё почти не меняется, поскольку снижение расходов воды и потери воды незначительны.

В процессе типизации русел рек учитываются разнообразные формы проявлений русловых процессов, их отличительные особенности для больших, средних и малых равнинных и горных рек, которые протекают в различных геолого-геоморфологических и природных условиях. Также для каждого типа русел типизация подкрепляется гидрологическими и морфологическими характеристиками, которые отражают их режимы многолетних и вековых переформирований, стадийности их развития, морфологию и генезис.

В классификацию русел рек и русловых процессов положены различные методологические подходы, которые опираются на национальные, региональные или другие данные, полученные исследователями.

Впервые классифицировать речные русла предложили К.И. Россинский и И.А. Кузьмин, они различали прямолинейные (соответственно, с типом деформации - периодическим расширением), извилистые (меандрирование и формирование излучин) и разбросанные (тип блуждающих русел) русла, существующие независимо друг от друга и каждое из которых характеризуется отличительными особенностями, выражающимися в: характере деформаций, специфике русловых рельефов, структуре водных потоков, динамикой и другими характеристиками [97].

Среди классификаций (типизаций) речных русел самое широкое распространение и признание получила морфодинамическая классификация речных русел, разработанная на базе МГУ им. М.В. Ломоносова, она характеризуется наиболее полным учётом их морфологии и режима русловых деформаций [94]. Данная классификация содержит принципы гидродинамической многоуровненности, самостоятельности, сложности

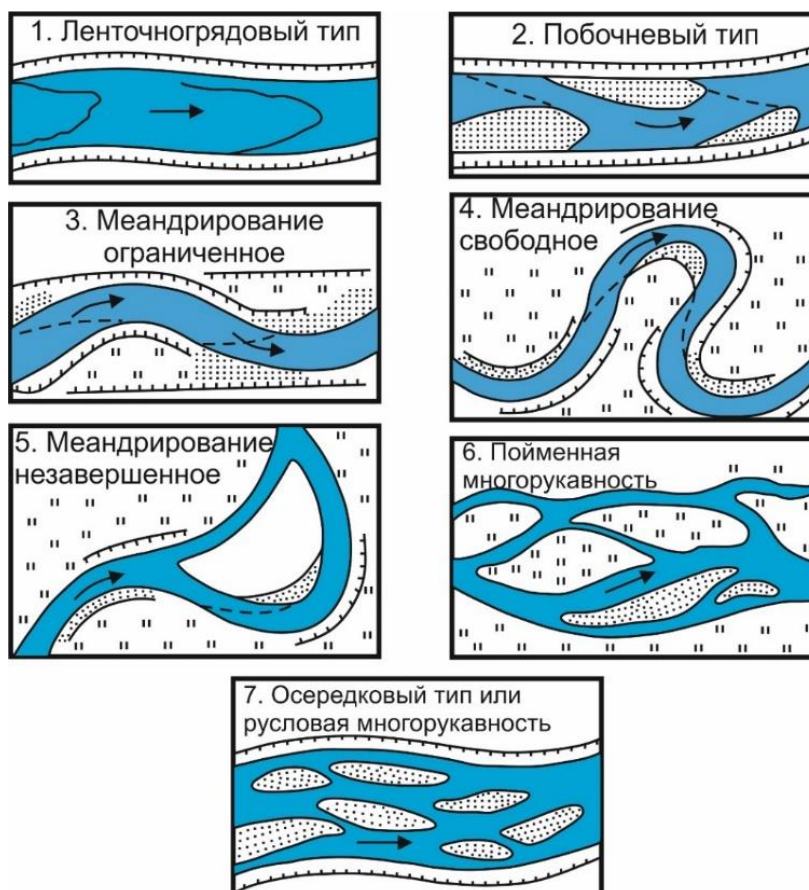


проявления различных форм и типов, учитывает генезис рек и многофакторность процессов, протекающих в руслах рек.

Наибольшее распространение, во времена СССР получили классификации, которые были разработаны в МГУ им. М.В. Ломоносова [91, 96, 98] и ГГИ [42]. Барышников Н.Б. [12], считает классификацию, разработанную в МГУ, более полной, но многие исследователи предпочитают классификацию, разработанную в ГГИ (рисунок 1.9.).

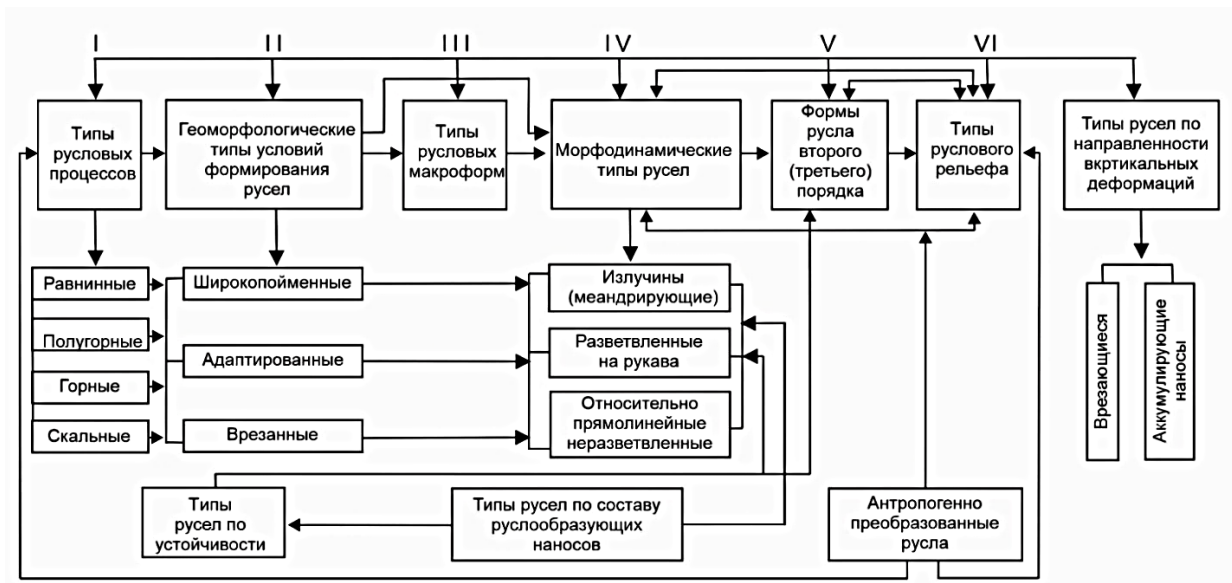
Обзор и анализ классификаций русел рек были выполнены Р.С. Чаловым. [90, 94], М.С. Карасёвым и Б.И. Герцманом [37].

По структуре данная классификация является системой, в которую входят шесть блоков, из которых каждый блок соответствует конкретным уровням



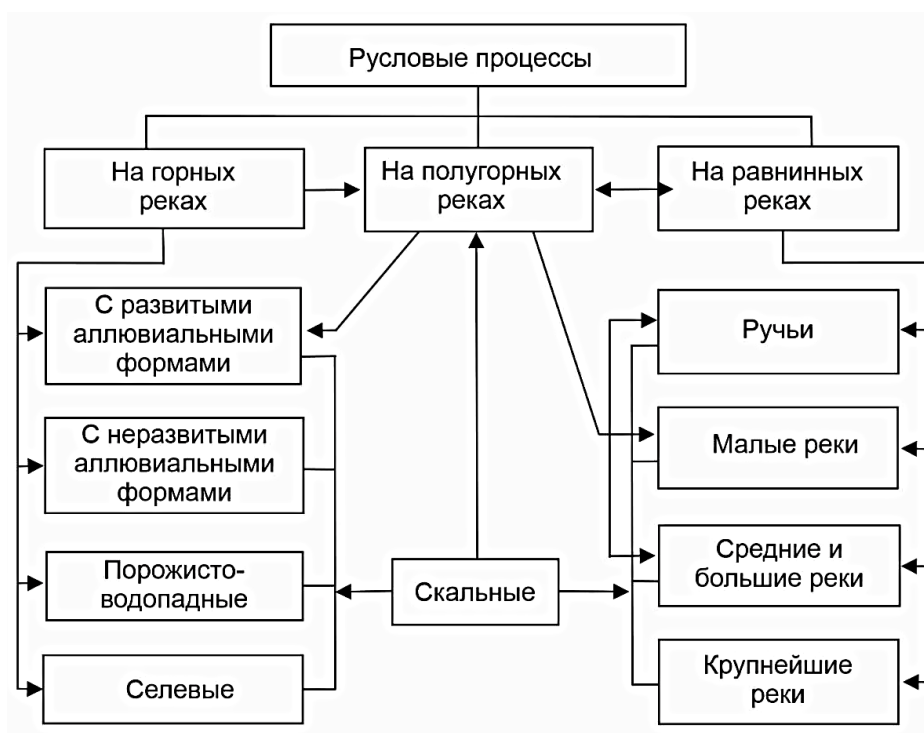
**Рисунок 1.9 - Типы русловых процессов (классификация ГГИ)** (разработанная ГГИ [97] и оцифрованная автором)

развития русловых процессов, каждый блок различается также условиями формирования русла, видами переноса наносных материалов, механизмами взаимодействия русел рек и потоков воды в них (рисунок 1.10.).



**Рисунок 1.10. - Структура морфодинамической классификации речных русел МГУ (рисунок разработанная Р.С. Чаловым [90])**

Также Р.С. Чаловым для процесса типизации разработана схема, характеризующая условия взаимодействия русла и руслового потока, а также формы и типы, по которым в руслах рек формируются наносы (рисунок 1.11.).



**Рисунок 1.11. - Схема типизации процесса по условиям взаимодействия потока и русла и формам транспорта наносов (рисунок разработанная Р.С. Чаловым [90])**

Существует и другие классификации предложенные учёными в разные годы из разных стран.

На пост советских странах кроме вышеуказанных классификаций существует и такие классификации, где указывается условия развития русла.

Примером таких классификации, предложенные Н.И. Маккавеевым, С.Т. Алтуниным, Р.С. Чаловым, А.Н. Крошкиным и З.Д. Копалиани с В.С. Цхададзе как отдельная классификация русел горных рек приводится в виде таблицы (таблица 1.2.).

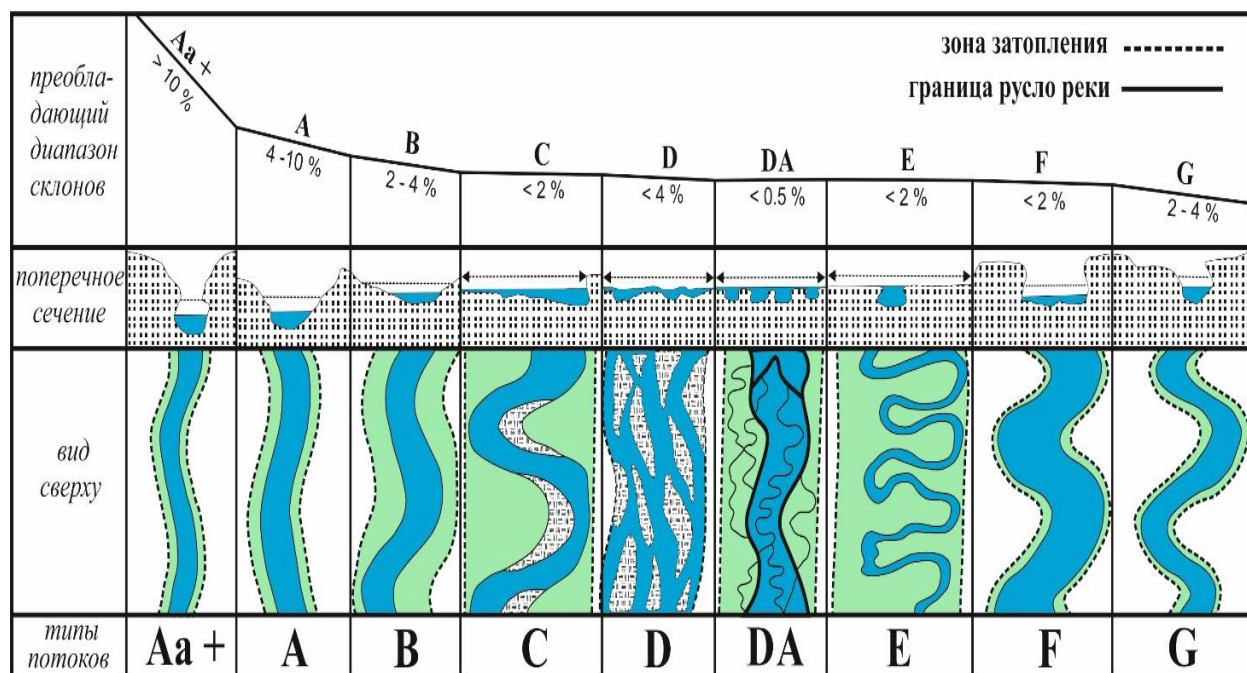
Таблица 1.2. - Классификации горных рек, предложенных с 1955 по 1972 гг.

Авторы:					Условие развития	
Маккавеев Н.И., 1955 г.	Алтунин С.Т., 1962 г.	Чалов Р.С., 1968 г.	Крошкин А.Н., 1970 г.	Копалиани З.Д., Цхададзе В.С., 1972 г.	Уклоны (Чалов, 1968), в %	Число Фруда (Крошкин, 1970)
Горные	Высокого горные	Горные порожисто- водопадные	Высокогогор ные	С преобладанием ограничивающег о фактора	>23-27	>1,2
	Горные	Горные с неразвитыми аллювиальными формами	Горные	-	15-16-23-27	0,8-1,2
		Горные с развитыми аллювиальными формами	Горно- предгорные	Осередковое и побочное	5-6-15-16	0,3-0,8
Полугорные	Предгорные	Полугорные	Предгорно - равнинные	Горная пойменная многоорукав- ность	0,2-05,-5-6	<0,3

На основе общих закономерностей морфологии русла, Давид Росген (Rosgen D.L.) классифицировал водотоки на 9 групп (Aa+, A, B, C, D, Dd, E, F,

G) [126], где каждому поперечному профилю соответствует определённый продольный профиль (рисунок 1.12.).

Схематическое изображение приведённым Росгеном Д.Л., на одной схеме указывает поперечное сечение, уклон и траекторию русла реки.



**Рисунок 1.12. - Продольное и поперечное сечение основных видов водотоков**  
(рисунок из [125] и оцифрованная автором)

Схематически классификация русел рек Росгена наиболее универсальная, но здесь отсутствует ещё один вид водотока, который встречается в горных реках. Этот вид водотока встречается в глубоко врезаемых горных реках, где русло стекает между коренными породами и скалами.

Крупнообломочный материал перемещается водным потоком в горных реках в основном при паводках или селях. Но в Таджикистане существуют реки, в ложе которых и во время паводков крупнообломочный материал не перемещается. По всей территории течения таких русел встречаются большие каменные глыбы, которые в результате природных процессов (землетрясения, селя и т.п.) сползли с гор в русло рек. Эти большие каменные глыбы (диаметром более 3-4 м и более) веками лежат посреди русел рек.

Горным рекам характерны валунные и галечные наносы, создающие в ложе водного потока существенные неровности (рисунок 1.13.).



**Рисунок 1.13. - Горная река с естественными препятствиями в русле (рисунок: фото автора)**

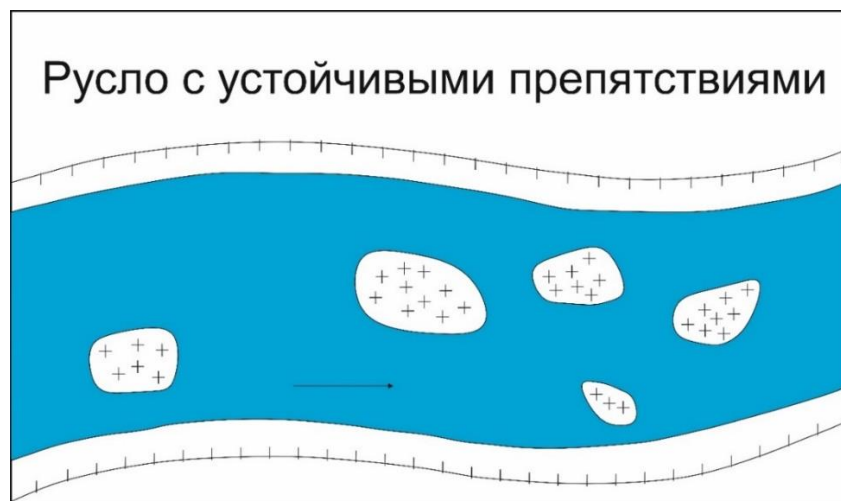
Более половины горных рек Таджикистана стекают в глубоко врезанных долинах, и такие реки встречаются почти повсеместно.

Среди предложенных классификаций (ГГИ) русел рек не учитывались русла с устойчивыми (каменными) препятствиями. В этих руслах устойчивое и само русло и препятствия посреди русел, которые составляют каменные глыбы. Русла этих рек схожи с типами 2 (Побочневый тип), 6 (Пойменная многорукавность) и 7 (Осередковый), но в предложенных ранее классификациях препятствия посреди русла неустойчивые.

Предлагаем ввести 8-ой тип классификации к классификации (ГГИ), то есть «устойчивое русло с устойчивыми препятствиями» (рисунок 1.14.).

Такая классификация ранее была предложена С.К. Хакимовым, но он указывал на то, что при паводках они могут измениться [85]. Предложенная нами классификация остаётся устойчивой при любых условиях





**Рисунок 1.14 - Русла рек с устойчивыми берегами и устойчивыми препятствиями (рисунок автора)**

Р.С. Чаловым [97] подробно описано поведение воды в горных реках с галечно-валунными препятствиями, где он называет такие русла - руслами с неразвитыми аллювиальными формами. Предложенное схематическое изображение 8-го типа, позволяет в дальнейшем при внесении в карты разного масштаба заранее ориентироваться туристам и путешественникам вдоль русел рек при путешествии. Так как устойчивые препятствия посреди русел рек позволяют легко перейти горные реки с одного берега на другой.

При сравнении предложенной классификации в предложенной форме класса русла, продольный и поперечный профиль русла соответствует классу Аа\*, А и В классификации русла по Росгену. Но у этой классификации препятствия находятся только у классов D (уклон <math><4\%</math>) и у DA (уклон <math><0,5\%</math>).

Более половины горных рек Таджикистана стекают в глубоко врезанных долинах, продольный уклон русел которых больше 4%. Русла с устойчивыми берегами и устойчивыми препятствиями встречаются у всех притоков главных рек, стекающих по территории РТ.

Абдурахмани Мустаджир, участвовавший в экспедиции 1870 г. в долину р. Зеравшан в своей книге «Дневник Искандеркульской экспедиции» (Рузномаи сафари Искандаркуль) [2] указывает, что в некоторых местах они перешли реки через мосты, опорами, которые служили устойчивые препятствия в русле р. Зеравшан и др. ее притоках. Эти устойчивые препятствия (мост Дупули в

Педжикентском районе, переходы через камни в р. Пасрударья в Айнинском районе и др.) стоят до сих пор, хотя прошло более 150 лет с тех экспедиций.

Врезанные русла отличаются большой устойчивостью. Отдельно выделяются дельтовые разветвления, которые представляют собой участки рек с направленной аккумуляцией наносов и ярко выраженной бифуркацией; основные рукава при этом самостоятельно впадают в реку.

Характерной особенностью русловых деформаций разветвлённого русла рек Зеравшана и Пянджа в пределах участков долины характеризуются пойменной разветвлённостью, приуроченной к пересечениям рекой тектонических впадин, для них характерны периодические перераспределения стока воды и наносов в простых узлах разветвления и связанные с этим блуждания динамической оси потока.

В практическом отношении одной из основных гидротехнических характеристик рек является устойчивость их русел, которая выражает степень противодействия к процессам размыва. Соответственно, само понятие «устойчивостью русла» возможно использовать при сравнении рек относительно развития деформаций в русле реки и скорости данных деформаций.

Деформации русел рек происходят по причине нарушенного баланса наносного материала на отдельных отрезках рек. Так, на бесприточных участках количество наносов вдоль речного потока постоянно изменяется, при этом происходят деформации в русле реки: снижение расходов наносов вызывает увеличение донных отметок, сопровождающееся аккумуляцией наносов; повышение расходов наносов в русле реки вызывает размыв русла и эрозионные процессы в нём. Русловые деформации разделяют на вертикальные и горизонтальные. Эти два вида русловых деформаций в большинстве случаев происходят одновременно.

В меандрирующих (извилистых) руслах деформация вызывается циклическими процессами, при которых в руслах рек происходит постепенное увеличение извилистости из-за размыва вогнутых берегов русла, смещения или

разворота излучин (меандров), в итоге в русле реки происходит спрямление русла за счёт прорыва перешейка. Далее происходит повторение процесса формирования и развития излучин.

Формирование поймы, с одной стороны, в известной мере является результатом плановых деформаций русла, а с другой стороны – пойма есть та среда, в которой развиваются русловые процессы. Таким образом, между русловыми и пойменными процессами осуществляется полная взаимосвязь, без выяснения которой нельзя пытаться понять ни тот, ни другой процесс [43].

Русловые процессы в большей степени зависят от природных особенностей территорий, по которым протекают реки, а также от факторов их составляющих.

При развитии русловых деформаций в условиях перехода от свободных условий к ограниченному формированию русел происходит во внутригорных впадинах и узких долинах, в которых горизонтальная деформация русла ограничивается коренными бортами, при этом само русло представляет собой узкую пойму. Данный вид русел рек носит название адаптированное русло. Адаптированные русла встречаются во всех рассматриваемых нами бассейнах рек.

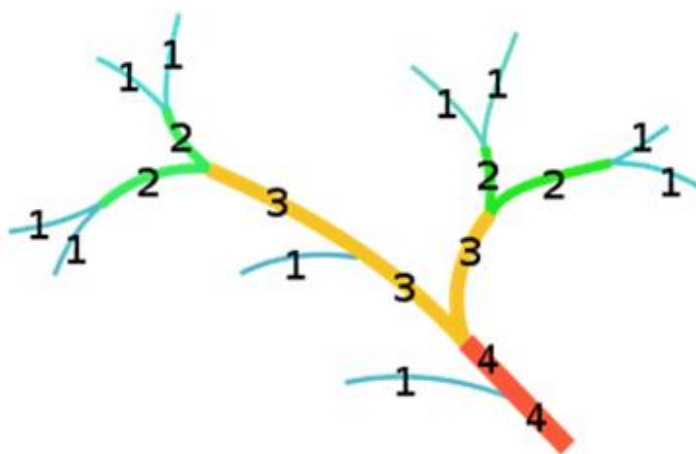
Также русла рек классифицируются по их устойчивости, где выделены три типа русел: блуждающие, устойчивые и неустойчивые.

Блуждающий тип русла реки характерен для рек, которые на одних отрезках образуют многочисленные протоки (рукава), на других отрезках образуют меандры. Реки устойчивого типа являются в основном устойчивыми в плане меандры и реки третьего типа отличаются более неустойчивым руслом.

Порядок распределения водотоков иногда называют бонитировкой речной сети. Существуют несколько разновидностей бонитировки речной сети; по Хартону [86], по А. Штралеру (Strhaler A.N.) [128], по Н.А. Ржаницину. [71] и по Р. Шриву (Schreve R.L.) [128]. Кроме этого, в России часто используют другой метод исчисления порядка водотоков, при котором счёт идёт от главной реки, имеющей притоки I, II и т.д. порядков [80]. На основании сети притоков



реки подразделяются на 12 классов, согласно числу Стралера, определяющего характер реки (рисунок 1.15.).



**Рисунок 1.15 – Определение классности рек согласно системе, разработанной Стралером (рисунок из интернета ресурса <https://wonderful-planet.ru/gidrosfera/22-reki-4/>)**

На основании системы, разработанной Стралером, в пределах речной сети каждая из имеющихся рек представляет собой как бы ветвь дерева. К первому классу, согласно данной системы, относятся истоки, не имеющие притоков. Когда к притоку, относящемуся к первому классу, присоединяется один приток, то речь идёт уже о потоке второго класса. Далее, при соединении двух потоков второго класса образуется поток третьего класса и т.д. Причём на классность реки не оказывают влияние притоки низших классов, при их соединении с потоками более высоких классов. Соответственно, при впадении в реку третьего класса притока первого или второго класса, река относится к третьему классу.

В частности, реку Амазонку, согласно системе, разработанной Стралером, относят к 12 классу, реку Миссисипи – к 10 классу, реку Огайо – к 8 классу. Но в основном более 80% рек на нашей планете имеют класс от первого до третьего.

Наиболее сильные воздействия оказывают плотины на реках, вызывающие затопление и подтопление поймы и прилегающих территорий,

деформации русла и берегов водохранилищ, их заиление и занесение наносами в верхнем бьефе, а также интенсивный размыв и русловые деформации в нижнем бьефе гидроузлов [4, 5].

### **Выводы по первой главе**

1. Русловой аллювий накапливается в низовьях рек, а у истоков река протекает по глубоко врезынным долинам и тогда пойма в основном появляется на низовьях. Пойма у горных рек существуют и у их истоков (реки Пянд, Зеравшан, Обихингоу). Огромное количество крупнообломочных наносов, привнесённых притоками, аккумулируется в руслах основных рек, что становится причиной накопления наносов в них. Хотя водный режим у рассматриваемых рек значительно отличается друг от друга, принцип русловых деформаций у них одинаков.

2. Предложенный нами новый вид классификаций русловой деформации, как дополнение к классификациям ГГИ и Росгена остаётся устойчивым, при любых условиях, и не только при паводках. Предложенная схематическая классификация может быть применено как условное обозначение (устойчивое русло с устойчивыми препятствиями) на топографических картах, так как оно может помочь туристам, путешественникам и научным работникам при подъёме в горы вдоль русла рек при прохождении с одного берега на другой.

3. Наиболее сильные воздействия на водосборы оказывают плотины водохранилищ на реках, вызывающие затопления и потопления речных русел с поймами и прилегающих территорий, деформации русла и берегов водохранилищ, их заиления и занесения наносами в верхнем бьефе, а также интенсивный размыв и русловые деформации в нижнем бьефе гидроузлов.

## ГЛАВА 2. ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ФАКТОРЫ ФУРКАЦИИ ГОРНЫХ РЕК

Раздвоение реки (от латинского «фурка», развилка) тоже одна из форм проявления русловых деформаций, происходит, когда река, текущая одним потоком, разделяется на два или более отдельных потока (называемых разветвителями), которые продолжают вниз по течению. Некоторые реки образуют сложные сети разветвителей, особенно в их дельтах. Если потоки в конечном итоге снова сливаются или впадают в один и тот же водоем, то разветвление образует речной остров.

При разветвлении потока на два притока - явление называется бифуркация, а при разветвлении потока на три и более протоков, то явление называется полифуркацией.

Этот процесс - чрезвычайно интересное явление, которое случается довольно редко. В истории географических исследований и наблюдений описано раздвоение рек, но на самом деле прецедентов было не так много.

Явление бифуркации было зафиксировано на исторических картах среднеазиатских рек, таких как Амударья и Сырдарья, задолго до открытия А. Гумбольдта. Так, например, р. Сырдарья на картах Оренбургской губернии 1772 г, у озера Телегул разветвляется и до самого разлива эти рукава стекают отдельно. Правый рукав назывался Сырдарьей, а левый - Кувань, эта же бифуркация указана на немецких картах Хорезма, Туркестана и Бухары 1749 г. в форме бифуркации р. Амударьи в 1747 г., когда один рукав стекает в Каспийское море, а другой - Аральское море [17].

О бифуркациях, в реках Средней Азии также можно встретить сведения и в других исторических источниках [10, 13, 25, 54].

Бифуркации подвержены не только реки, но и озёра. В совокупности, они наряду с другими причинами, вызывают изменения в гидрографическом рисунке рек. Эти вопросы, а также последствия бифуркаций будут рассмотрены ниже.

## **2.1. Проявления бифуркаций на реках Таджикистана как следствие геодинамической неустойчивости акваторриеторий и ее последствия**

Ответвлений, которые мы в дальнейшем будем называть бифуркацией или полифуркацией, нами на территории республики было зарегистрировано 12. Руслу этих рек после ответвлений стекают по разным долинам.

Ответвления реки может быть временным или постоянным, в зависимости от прочности материала, разделяющего разветвления. Разветвление также может быть искусственным, например, когда два потока разделены длинной опорой моста.

Как видим, в основном все источники указывают на явление бифуркации в низовьях и средних течениях рек. И исследования явления бифуркации также проводились в низовьях.

Разветвления на отдельные рукава русел рек - наиболее сложные и разнообразные, как по морфологии и режиму деформаций (динамики) проявления русловых процессов, так и по условиям управления ими при освоении речных ресурсов.

Выделяют 25 типов разветвлений, разделённых по 5 уровням их формирования; наибольшее число разветвлений – на островном (русловом) уровне, причём для каждого типа даны принципиальные схемы их регулирования. Во многих классификациях выделено всего две разновидности разветвлённых русел: например, по ГГИ – осередковая или русловая многорукавность [95].

Но на территории горных стран, где в основном текут маленькие и средние реки, встречаются и ответвления, и разветвления. Здесь в основном для горных рек выделяются три основных типа бифуркации, согласно данным [91, 129]:

1. Бифуркация со слиянием.
2. Бифуркация с делением в одном бассейне.
3. Бифуркация с полностью автономным разделением водных потоков

и стоками их в различные бассейны, которые друг с другом не сходятся. Данный тип бифуркации встречается очень редко.

В таблицу 2.1. приведём данные проявлений бифуркаций и полифуркаций на территории Таджикистана и соседних государств.

Таблица 2.1. Проявление фуркаций на территории Таджикистана

Название точки проявления фуркации	Координаты (с.ш./в.д.)	Высота (м абс.)	Угол разветвления (°)	Режим
1. р. Пяндж (остров Даркад)	37°34'45"	520	30	Постоянная
	69°41'45"			
2. р. Карашура	39°06'25"	3270	43	Постоянная
	72°21'39"			
1. р. Терс-Ангар-Суу (Кыргызстан)	39°14'26"	3636	45	Постоянная
	72°15'15"			
3. Курункуль (Муксу)	38°46'49"	3976	25	Сезонная
	73°17'39"			
2. Курункуль (Музджилга)	38°45'02"	3983	28	Постоянная
	73°15'02"			
4. р. Биргутай– Джилгачелов (ИРА)	37°13'18"	4070	30	Постоянная
	74°06'44"			
3. У озера Махмаруддинкуль	37°22'67"	4128	24	Сезонная
	74°44'25"			
5. Уртабуз	37°36'51"	4246	47	Постоянная
	74°00'46"			
4. Карадунг	37°30'14"	4373	46	Постоянная
	74°01'00"			
6. Айдынкуль	37°25'59"	4449	23	Постоянная
	74°12'54"			
5. Янгидаван	37°30'48"	4470	58	Сезонная
	74°02'56"			
7. На пер. Бандерского	37°22'15"	4563	180	Постоянная
	74°14'05"			

Из 12-и проявлений фуркаций, обнаруженных нами, 9 расположены на территории Таджикистана, одно явление полифуркации происходит на русле

р. Пяндж (полифуркации: Пяндж-Даркад-Кызылсу, 520 м абс.), одно на территории Афганистана и одно - на территории Кыргызстана.

Два последних явления бифуркации находятся на территории соседних государств, но после ответвления один из протоков этих рек протекает по территории Таджикистана. Из всех перечисленных нами явлений бифуркации три можно считать сезонными. Из 9-и явлений фуркации на территории Таджикистана - 8 расположены в Памире, и русла этих рек после ответвлений стекают по разным бассейнам.

Теперь коротко дадим характеристику каждой из этих бифуркаций с ростом высоты в отдельности.

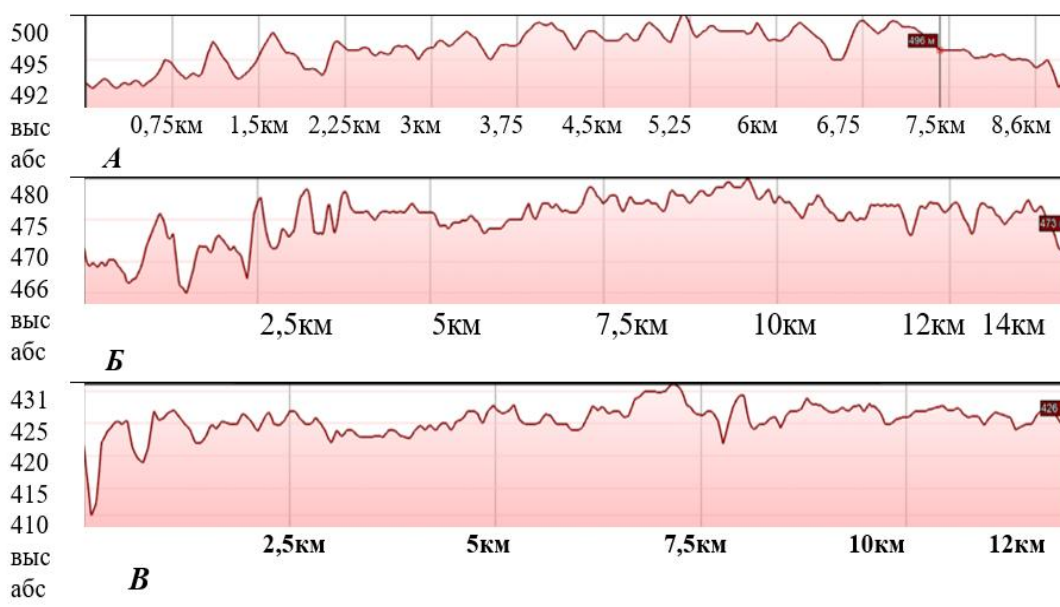
1. Полифуркации на острове Даркад. Это явление называется полифуркацией, так как здесь река разветвляется на десятки протоков. Река Пяндж, выходя из узкой долины речки Джумар (10 км восточнее Чубек), постепенно расширяется, где ширина с поймами на этом участке более 500 м. Юго-восточнее Дахана (Таджикистан), расположенном на правом берегу от р. Пяндж на высоте 550 м абс., ответвляется р. Каросу. На этом отрезке, где ширина поймы составляет более 1,7 км, р. Пяндж до разветвления течёт со средней скоростью 4,2 м/с. Западнее этого участка река постепенно расширяется, разветвляясь на многочисленные рукава. На этой территории основная масса протоков течёт по территории Афганистана.

Ниже села Чубек, на границе между Таджикистаном и Афганистаном, р. Пяндж разделяется на несколько рукавов, посреди крайних образовался островок, называемый Даркад (Уртатугай). Также посреди этого острова протекают десятки протоков р. Пяндж. Один из наиболее крупных протоков, протекающий посреди острова, называется р. Даркад.

Поперечный профиль острова Даркад сильно расчленён, и это становится явным при просмотре поперечного профиля (рисунок 2.1). Съёмки поперечного профиля были сняты в трёх местах; северо-восточной, средней и юго-западной частях острова, в которых такое расчленение проявляется значительней.

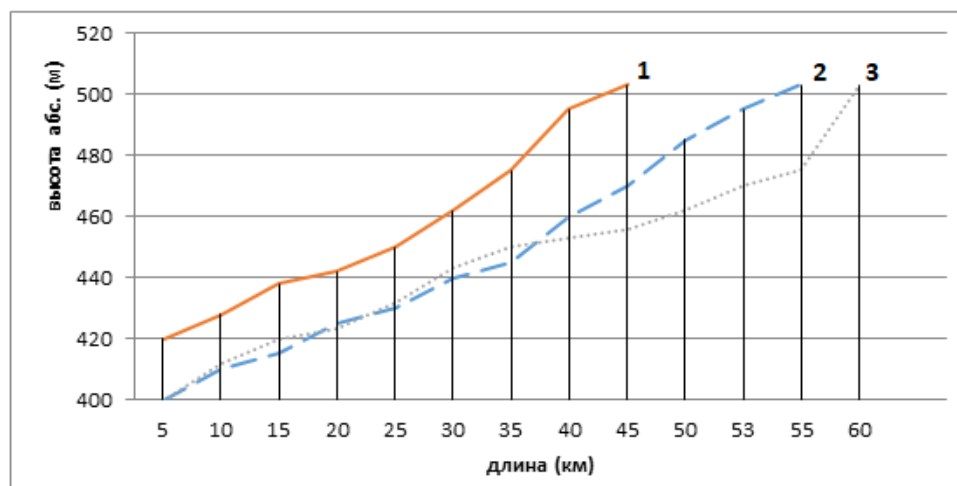
Явление полифуркации на этой территории считается самым многоводным, так как здесь разветвляется р. Пяндж. В последние годы из-за укрепления берегов русловые процессы нарушены. И объём воды, протекающей по протокам, изменился [14-А].

Как видно из рисунка 2.1., на всех трёх выбранных точках срединная часть острова выше краёв в среднем на 15 метров. Главный проток с левого берега, который на карте одноимённый с р. Пяндж, на территории острова протекает с северо-востока на юго-запад [2-А].



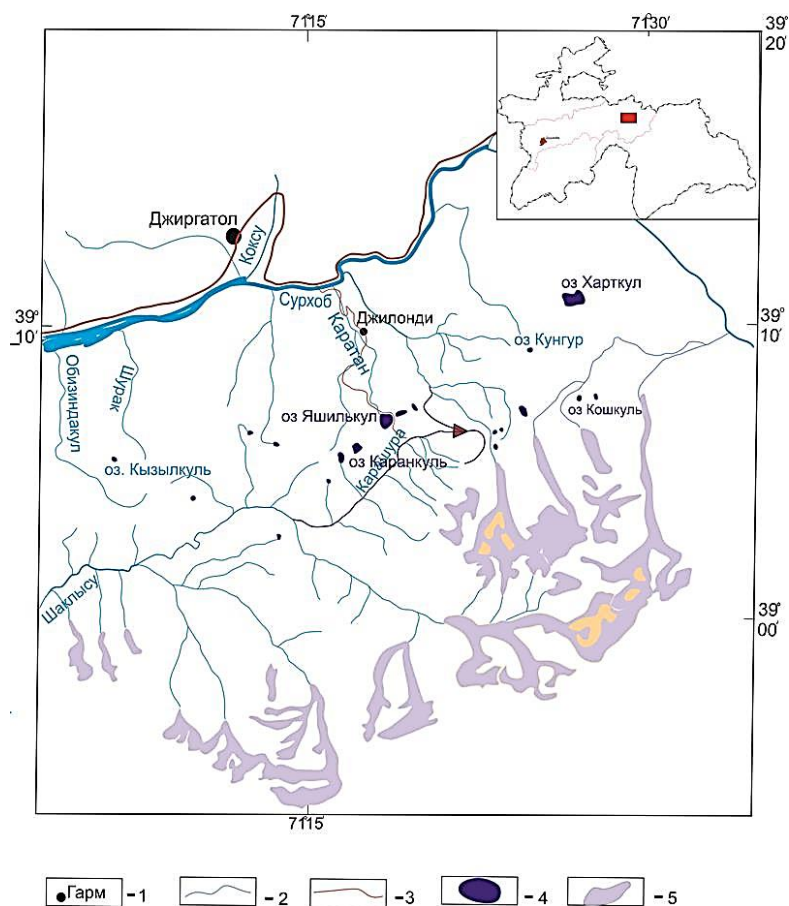
**Рисунок 2.1. - Поперечные профили острова Даркад: А – северо-восточная часть, Б – средняя часть, В – юго-западная часть (рисунок разработан автором)**

На рисунке 2.22 показана продольная траектория трёх основных протоков: Пяндж, Даркад и Кызылсу, после ответвления. После полифуркации эти реки до сливания с р. Пяндж протекают разные расстояния и угол наклона у них тоже отличается.



**Рисунок 2.2. - Продольный профиль рек, текущих в пределах острова Даркад (линии: 1 – р. Пяндж, 2 – р. Даркад, 3 – правый пр. р. Пяндж) (рисунок разработан автором)**

2. Другое явление бифуркации находится у истоков р. Карашура (39°06'24" с.ш., 71°21'39" в.д.), на хр. Петра Первого, на северо-западной части ледника Саидои Насафи (Баралмас) (рисунок 2.3.).



**Рисунок 2.3. - Бифуркация у истока р. Карашура (1 – сёла, 2 – реки, 3 – автомобильные дороги, 4 – озёра, 5 – ледники) (рисунок оцифрован автором)**



Параллельно с ледником, с левого борта из двух ручейков образуется речка, которая называется Карашура, её длина 3,5 км. Протекая после сливания ещё 1,3 км со средним уклоном 98 м/км, на высоте 3270 м абс, р. Карашура разветвляется. На этой точке бифуркации разветвлённые реки расходятся по двум районам ГРРП (Сангвор и Таджикабад).

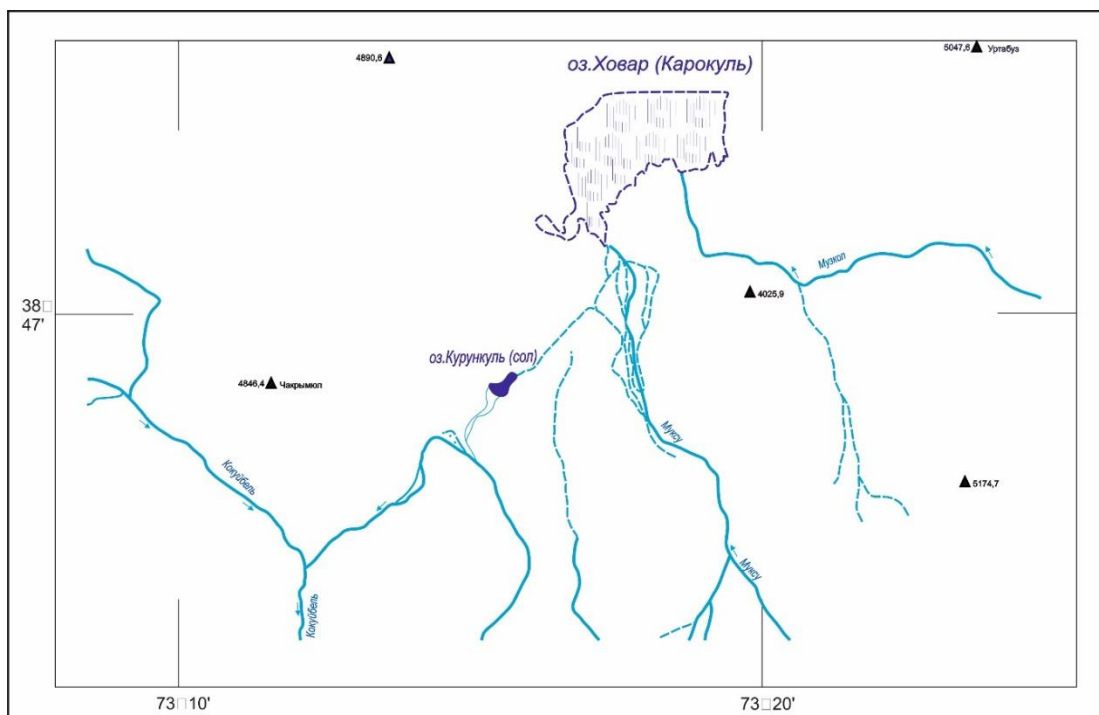
Р. Карашура, стекает сначала на запад, а потом на юго-запад, становясь притоком 4-го порядка р. Обихингоу. От истока к устью р. Карашура меняет своё название с таким порядком: Карашура – Обикулика – Шаклысу – Рагноу. Река Рагноу является притоком первого порядка р. Обихингоу.

Другая речка после бифуркации (ответвления от р. Карашура) стекает сначала на северо-запад и потом, плавно поворачивая на северо-восток, сливается с р. Сурхоб. Следует отметить, что эта речка с названием Сурхоб является притоком 2-го порядка р. Сурхоб. Р. Сурхоб берёт своё начало от ледника Сайидои Насафи, затем становится притоком р. Арчакальа, который, в свою очередь, сливаясь с р. Заринруд (Муксу), образует р. Сурхоб (приток р. Вахш). Ответвлённые русла, стекая по разным бассейнам; 141 км по руслу р. Сурхоб и 162 км по руслу р. Обихингоу, сливаются у истока р. Вахш. Угол между двумя разветвлёнными ручейками составляет  $43,5^\circ$ .

3. Бифуркация у оз. Курункуль. У оз. Курункуль находятся две точки бифуркации: одна на северо-востоке озера, а другая - на юго-западе. Первая расположена на высоте 3976 м абс. ( $38^\circ 46' 49''$  с.ш.,  $73^\circ 17' 38''$  в.д.) и является сезонной. Оз. Курункуль находится в 10 км юго-западнее оз. Ховаркуль (Каракуль) (рисунок 2.4.).

Это очень редкое и уникальное явление бифуркации, которое встречается в природе. Уникальность этого явления в том, что две соседние реки Муксу (справа) и Музджилга (слева), стекая с гор, почти на одном уровне абс. высоте разветвляются. Ответвляясь от р. Муксу в сезон половодья, приток стремится налево и сливается в оз. Курункуль, протекая около 5,5 км. А основная река сливается в бессточное оз. Ховар.

4. Таким же образом от р. Музджилга ответвляется приток на высоте 3983 м абс. ( $38^{\circ}45'02''$  с.ш.,  $73^{\circ}15'02''$  в.д), направляясь сначала на северо-запад, а затем на северо-восток, протекая 2 км он стекает в оз. Курункуль (рисунок 2.4.). А главная ветвь р. Музджилга, направляясь на юго-запад, становится притоком р. Кокуйбейл. В свою очередь р. Кокуйбейл, сливаясь с р. Танымас, образуют р. Гудару. И далее эта река переименуется в Бартанг, один из главных притоков р. Пяндж.

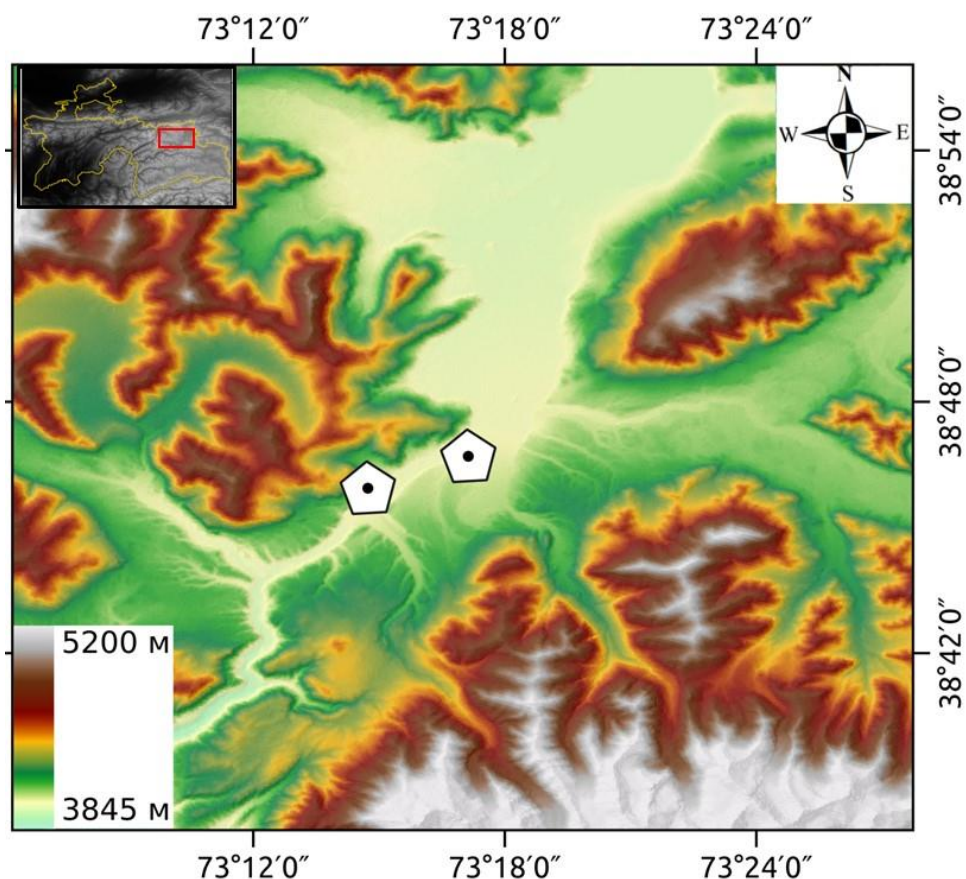


**Рисунок 2.4. - Бифуркации у озера Курункуль (рисунок разработанная автором)**

На расстоянии почти 3 км от оз. Курункуль также наблюдаются следы ответвления, где второй приток опять стекает в оз. Ховаркуль.

Оба ответвлённых притока рек Муксу (справа) и Музджилга (слева) протекают до оз. Курункуль, длиной всего в 1 км, и иногда (в сезон маловодья) под аллювиальными отложениями. Оз. Курункуль, тоже является бессточным и солёным.

Рельеф местности вокруг озера с показаниями абсолютных высот указаны на карте, приведённой на рисунке 2.5. По карте ясно видно, что юго-западная часть уступает по абсолютной высоте северо-восточной части озера.

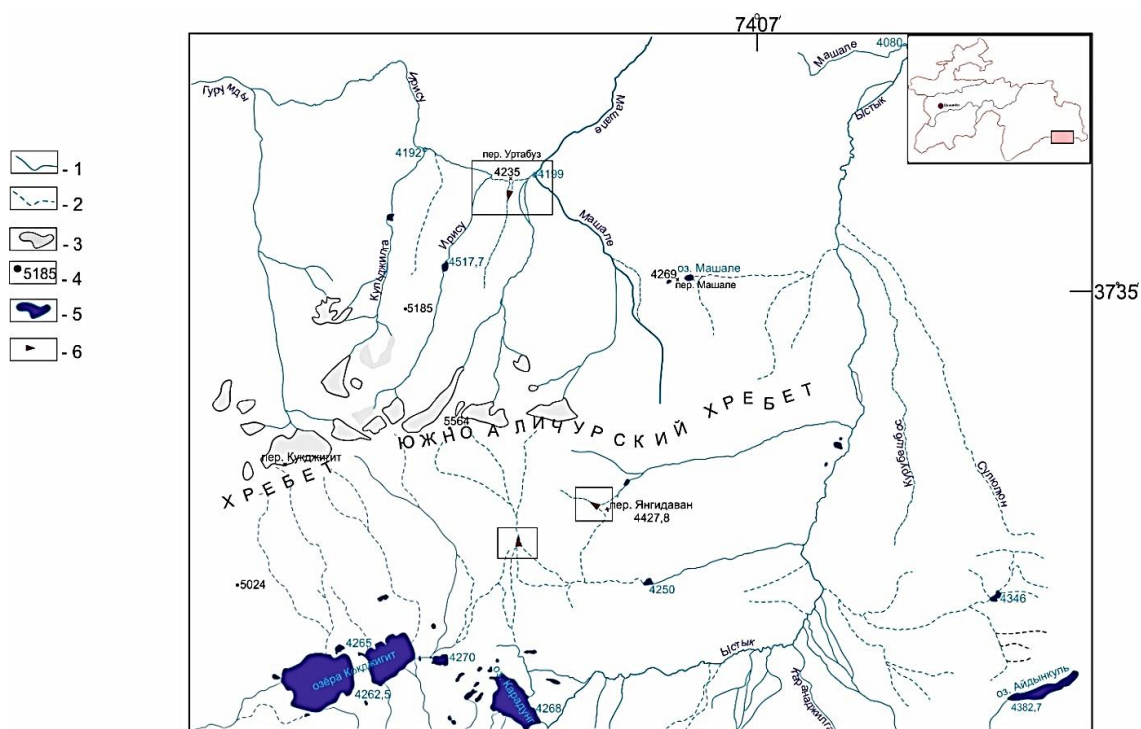


**Рисунок 2.5. - Карта рельефа местности вокруг оз. Курункуль**  
(рисунок разработанная автором на основе ArcGIS)

5. Бифуркация у пер. Уртабуз ( $37^{\circ}36'51''$  с.ш.,  $74^{\circ}00'46''$  в.д.), сезонная бифуркация. Это явление бифуркации наблюдается на пер. Уртабуз (4235 м абс.) между реками Машале (справа) и Ирису (слева) на высоте 4246 м (рисунок 2.6.).

На этой территории с двух сторон пер. Уртабуз, реки Машале и Ирису максимально сближаются, и расстояние между ними составляет 1,3 км. С юга от пер. Уртабуз, напротив высшей точки (4235 м. абс.) с юга на север течёт безымянная сезонная река, которая в 420 м от перевала разветвляется на два сезонных ручейка. Один ручеёк, поворачиваясь на запад, протекая 1,1 км, стекает в речку с названием Ирису, а другой после разветвления поворачивает направо, протекая 1,1 км, стекает в р. Машале. Угол между разветвлёнными ручейками составляет  $47^{\circ}$ . Река Ирису является притоком (5-го порядка) р. Гунд, а р. Машале является притоком (5-го порядка) р. Бартанг.

6. Полифуркация севернее оз. Карадунг ( $37^{\circ}30'14''$  с.ш.,  $74^{\circ}01'00''$  в.д.). Эта точка бифуркации расположена 4,5 км севернее оз. Карадунг, на высоте 4373 м абс. и является сезонной (рисунок 2.6.).



**Рисунок 2.6. - Бифуркации у перевалов Уртабуз, Янгидаван и Карадунг (1 – реки, 2 – сезонные реки, 3 – ледники, 4 – высотные отметки, 5 – озёра, 6 – точки бифуркации) (рисунок разработана автором)**

Полифуркация у оз. Карадунг является уникальной, хотя она является сезонной, так как одна река разветвляется на три речки, и они стекают по разным бассейнам. Главная речка, которая является сезонной и не имеет названия на топографических картах, стекает с Южно-Аличурского хребта на юг. По пути с правого берега в неё сливаются два сезонных ручейка (рисунок 2.6.). После слияния этих притоков речка протекает почти 1 км и потом снова разветвляется. Длина реки до точек полифуркации 3,2 км.

Первое, верхнее разветвление (бифуркация) наблюдается на высоте 4384 м. абс., а второе, нижнее на этой речке, расположено на высоте 4373 м. абс. Угол разветвления между речками верхней бифуркации  $44^{\circ}$ , а угол разветвления между речками нижней бифуркации  $46^{\circ}$ .

Первая речка после верхней бифуркации сначала поворачивается налево, на юго-восток, протекает почти 200 м и ещё раз разветвляется. Левый проток стекает на восток, протекает 12 км и стекает в р. Ыстык. Другой проток стекает на юг, в сторону оз. Карадунг. Это явление бифуркации является сезонным. После верхней бифуркации средний угол наклона стекания основной реки резко уменьшается.

Верхняя речка после бифуркации, которая образовалась на высоте 4384 м. абс., стекает на юго-запад, в сторону оз. Кокджигит. Расстояние от места бифуркации до оз. Кокджигит 6,2 км. После оз. Кокджигит река меняет своё название на Мукурчилоб и она сливается в оз. Зоркуль, где из него вытекает р. Памир.

Третья речка разветвляется на 200 м ниже верхней точки бифуркации, от левого притока и стекает на юг с отклонением на восток. Около оз. Карадунг река поворачивает налево, протекает 7,4 км и сливается с рекой, которая переливается в оз. Карадунг, и затем стекает в р. Ыстык. Эта речка, обходя небольшую ложину, стекает в р. Ыстык на высоте 4256 м. абс., Расстояние от точки слияния третьего протока до точки сливания левого притока в р. Ыстык составляет 12 км.

Следует отметить, что речки до точки этого ответвления являются сезонными. После точки бифуркации, какую-то часть пути некоторые речки протекают под ледниково-пролювиально-аллювиальными отложениями. Кроме этих ручейков, многие другие речки в Мургабском районе протекают под ледниково-пролювиально-аллювиальными отложениями.

7. Бифуркация у пер. Янгидаван ( $37^{\circ}30'48''$  с.ш.,  $74^{\circ}02'56''$  в.д., рисунок 2.6).

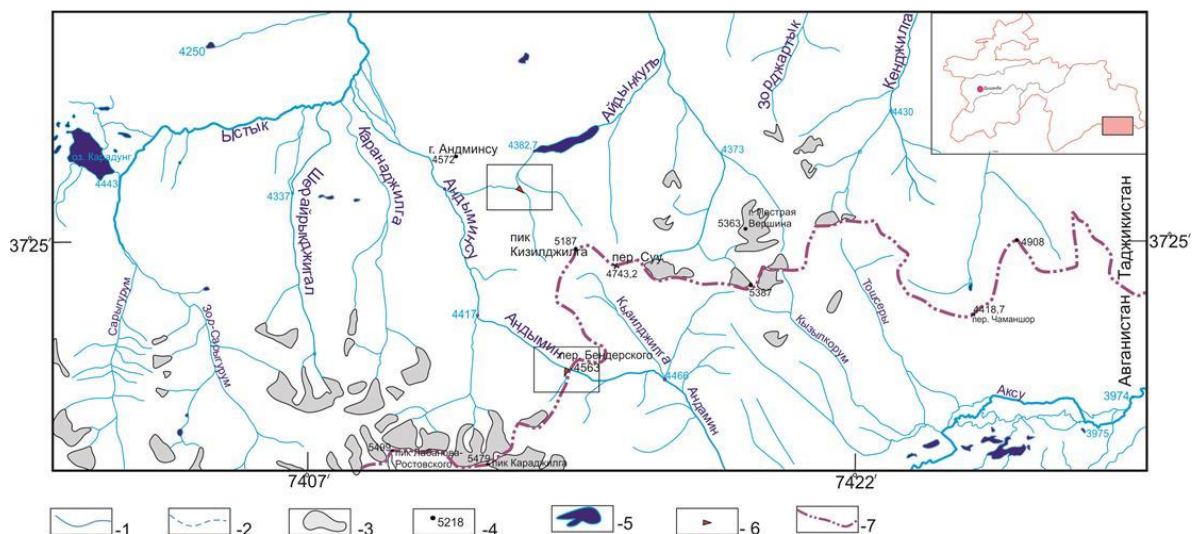
Южнее от бифуркации Уртабуз можно наблюдать ещё одну сезонную бифуркацию, которая находится северо-восточнее пер. Янгидаван. Бассейн этой бифуркации не очень велик и обе разветвлённые речки являются притоками р. Ыстык.

Это явление бифуркации находится на южном склоне Южно-Аличурского хребта. Речка с южного склона гор стекает на юго-восток и на высоте 4470 м над уровнем моря разветвляется на два протока.

Левый проток после бифуркации направляется на северо-восток и стремится в сторону р. Ыстык, где до сливания протекает 10,4 км. Другая ветвь после бифуркации протекает на юг, протекает 3,3 км, сливается с другим притоком р. Ыстык. Угол между разветвлёнными потоками составляет 58°.

На этой территории, юго-западнее от точки бифуркации у перевала Янгидаван, наблюдается ещё одна сезонная бифуркация. Эти реки протекают под ледниково-пролювиально-аллювиальными отложениями.

8. Бифуркация у оз. Айдынкуль (рисунок 2.7.). Бифуркация в этом районе наблюдается на 1,3 км юго-западнее оз. Айдынкуль, на высоте 4449 м абс. (37°25'59" с.ш., 74°12'54" в.д.).



**Рисунок 2.7. - Бифуркация у оз. Айдынкуль и Андиминсу (1 – реки, 2 – сезонные реки, 3 – ледники, 4 – высотные абс. отметки, 5 – озёра, 6 – точка бифуркации, 7 - государственная граница)**

(рисунок разработанная автором)

Явление этой бифуркации наблюдается у правого притока р. Андиминсу. Протяжённость р. Андиминсу от истока до точки бифуркации 3 км. Речка сначала стекает с юга на север, после ответвления левый проток



стекает налево и становится притоком р. Адмынсу. Другой проток, стекая направо, сливается в оз. Айдынкуль. От точки бифуркации до оз. Айдынкуль река протекает 2,6 км, а от этой точки до разлива с р. Адмынсу вторая речка протекает 3,6 км. Угол между разветвлёнными ручейками составляет 23°. Также, ниже этой точки бифуркации у р. Айдынкуль наблюдаются и другие точки, где русло разветвляется.

Протяжённость р. Айдынкуль до озера 39 км, а общая длина от точки бифуркации до разлива вместе с длиной оз. Айдынкуль - 44,3 км. Протекая такое расстояние, р. Айдынкуль по пути переименуется в р. Бешбулок, потом забирая справа приток с названием Джаманшура на высоте 3990 м абс., сливается в р. Ыстык.

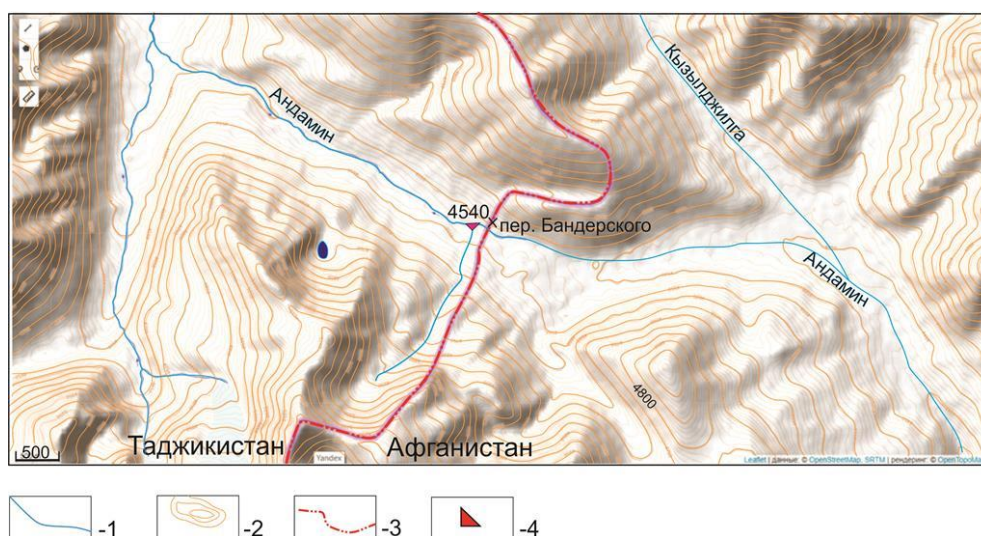
Другая ветвь после ответвления сливается с р. Анлиминсу, которая в свою очередь является притоком р. Ыстык.

Бифуркация у р. Айдынкуль на топографических картах 70-80-х годов пошлого столетия не указана. Из этого следует, что она проявилась недавно. Также в 3,6 км севернее (с отклонением на запад) от оз. Айдынкуль находится другое озеро, которое не имеет название. В 350 м юго-западнее от этого озера наблюдается другое проявление сезонной бифуркации на высоте 4355 м абс. (37°28'43" с.ш., 74°12'37" в.д.).

Бифуркация на пер. Бандерского (37°22'15" с.ш., 74°14'05" в.д. – рисунок 2.8.). Явление бифуркации на пер. Бандерского расположено на высоте 4540 м. абс. Этот перевал находится на Ваханском хребте и разделяет границу между Республикой Таджикистан и Афганистаном. Точка проявления бифуркации расположена на территории Таджикистана.

Протекая с юга на северо-восток, на северо-западном склоне Ваханского хребта р. Андымин берёт своё начало на леднике, который находится на территории Республики Таджикистан. Пройдя от истока до точки бифуркации расстояние почти 2 км, воды речки на пике перевала Бандерского сначала скапливаются в виде озера, река ответвляется. Угол

разветвления бифуркации между реками Андымин и Андамин составляет 180°.



**Рисунок 2.8. - Бифуркация у пер. Бандерского (1 – река, 2 – горизонтальные линии, 3 – линия границы, 4 – точка бифуркации) (рисунок разработанная автором)**

Один ручеёк, который называется Андамин, после ответвления сначала направляется на восток, в сторону Республики Афганистан, и на высоте 4468 м. абс., принимая слева приток под названием Кызылджилга, поворачивает на юго-восток и сливается в р. Аксу, которая является притоком первого порядка р. Маргоб (Мургаб).

Ответвлённая р. Андамин (приток р. Аксу) протекает более 112 км, сливается с р. Сулистык на высоте 3790 м. абс., южнее села Тухтамиш Мургабского района. Из этого расстояния река 49,6 км проходит по территории Республики Афганистан.

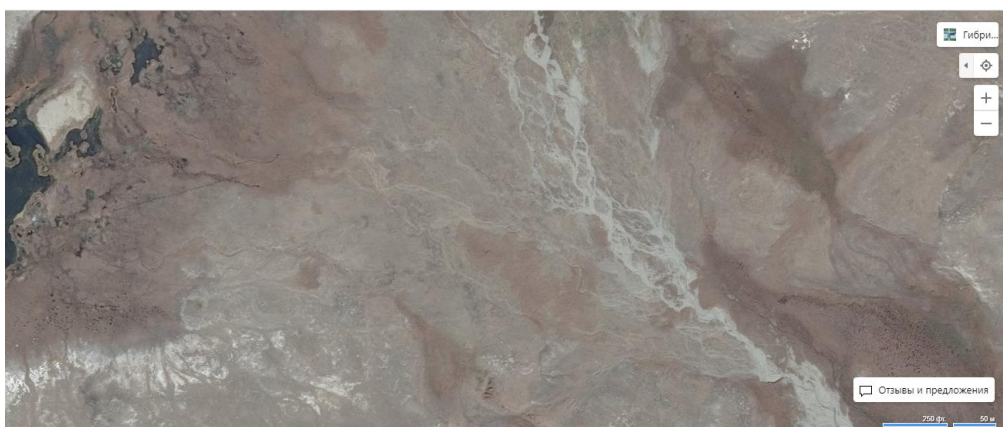
Другая речка, которая ответвляется из точки бифуркации (с пер. Бандерского), стекает на северо-запад, называется р. Андымин. Пройдя от истока 4 км, река сливается с другой безымянной речкой на высоте 4417 м, после чего река берёт название Андыминсу. Р. Андыминсу является притоком первого порядка р. Ыстык. Р. Ыстык меняет своё название на Суулу-Ыстык после принятия притоков Кастандай-Джилга (справа) и Учджилга (слева) и с таким названием протекает до с. Тухтамыш, где сливается



в р. Аксу. Р. Ёстык от точки бифуркации до с. Тухтамыш протекает более 95 км.

10. Бифуркация у оз. Махмаруддинкуль ( $37^{\circ}22'37''$  с.ш.,  $74^{\circ}44'26''$  в.д., на высоте 4128 м абс., сезонная (рисунок 2.9.).

Эта бифуркация тоже находится на территории Мургабского района ГБАО Республики Таджикистан, рядом с границей с ИРА. Р. Кашкасу истоком которой являются ледники на территории соседнего Афганистана, стекает с юга на север.



**Рисунок 2.9. - Бифуркация у озера Махмаруддинкуль**  
(рисунок скопирован автором на основе Гугл)

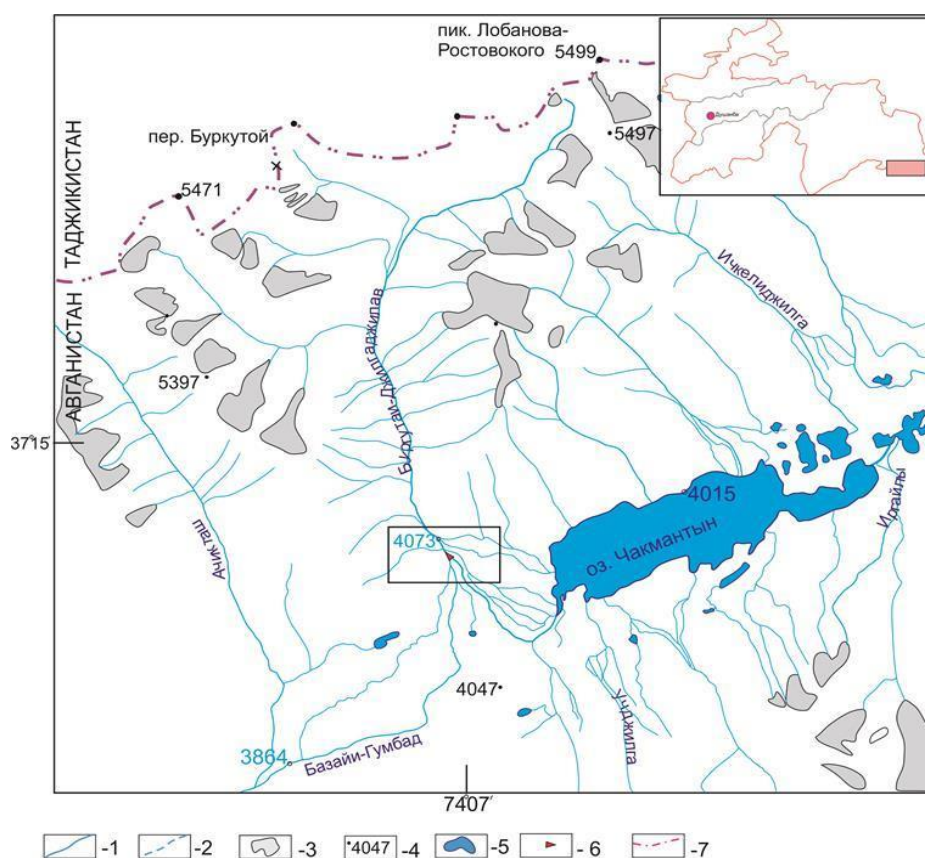
Доходя до линии государственной границы с Афганистаном, р. Кашкасу разветвляется. После разветвления правый проток с тем же названием сливается в р. Тегерменсу, становясь притоком первого порядка этой реки, протекает почти 9,3 км на северо-восток. А левый проток, ответвляясь, протекая вдоль линии границы почти 1 км, сливается в маленькое озеро с названием Махмаруддинкуль. Средний уклон этого протока 36 м/км. До точки бифуркации р. Кашкасу протекает 3,2 км, со средним уклоном 127 м/км по территории Афганистана. Следует отметить, что в дельте р. Тегерменсу также наблюдаются многочисленные разветвления, то есть явления авульсии.

Оз. Махмаруддинкуль расположено на территории Таджикистана, а его южная часть (южный берег) разделяет границу между двумя государствами

(Таджикистаном и ИРА). В сезон половодья оз. Махмаруддинкуль становится проточным, и с него стекая, вода опять сливается в р. Кашкасу.

11. Бифуркация на русле р. Биргутайи-Джилгачелов (Афганистан), 37°13'18" с.ш., 74°06'44" в.д., на высоте 4070 м. абс. (рисунок 2.10.). Эту бифуркацию можно считать полифуркацией.

Одна из таких р. Биргутаи-Джилгаджелав, которая разветвляется, находится на территории Исламской Республики Афганистан и считается самым большим бассейном [63].



**Рисунок 2.10. - Бифуркации р. Биргутайи-Джилгачелов (1 – реки, 2 – реки сезонные, 3 – ледники, 4 – высотные отметки, 5 – озёра, 6 – точка бифуркации, 7 – государственная граница) (рисунок разработанная автором)**

Р. Биргутаи-Джилгаджелав стекает сначала с севера на юго-запад, а затем на юг вплоть до бифуркации. Общая длина этой реки от истока до раздвоения составляет 14,1 км. Средний уклон реки 5,5%, а максимальный уклон 15,7%. Самая верхняя точка, где начинается исток, расположена на высоте почти 5100 м. абс.

С обоих берегов в р. Бургутай-Джилгаджилав сливаются всего 26 больших и маленьких притоков до бифуркации.

Кроме бифуркации, на устье этой реки наблюдается явление авульсии, в которой основная масса разветвлённых протоков сливаются в оз. Чакмантын.

Явление бифуркации было выявлено в процессе ГИС-изучения бассейна р. Амударья на р. Биргутайи-Джилгачелав. Своё начало эта река берёт на южных отрогах восточного окончания Ваханского хребта, точнее – начинается на пике Караджилга. Данная река протекает по территории Афганистана, по правому борту Ваханской долины, и которая считается истоком р. Амударья. Абсолютные высоты бассейна р. Биргутайи-Джилгачелав колеблются от 4015 (нижний базис – зеркало оз. Чакмантын) до 5679 м. абс. (южная граница Афганистана и Таджикистана, пик Караджилга).

В районе крайней южной границы Республики Таджикистан, на территории южного склона Ваханского хребта река Биргутайи-Джилгачелов протекает в северо-южном направлении, здесь она разделяется несколько отдельных потоков, которые являются истоками двух рек: Базайи – Гумбад – Вахандарья – Пяндж протяжённостью свыше 400 км и Аксу – Мургаб – Бартанг - протяжённостью более 480 км.

Для р. Биргутайи-Джилгачелав первая точка бифуркации отмечается на высоте 4073 м абс. [13-А], при разветвлении левый приток втекает в оз. Чакмантын (4015 м), откуда берёт свое начало р. Аксу - верховье р. Бартанг.

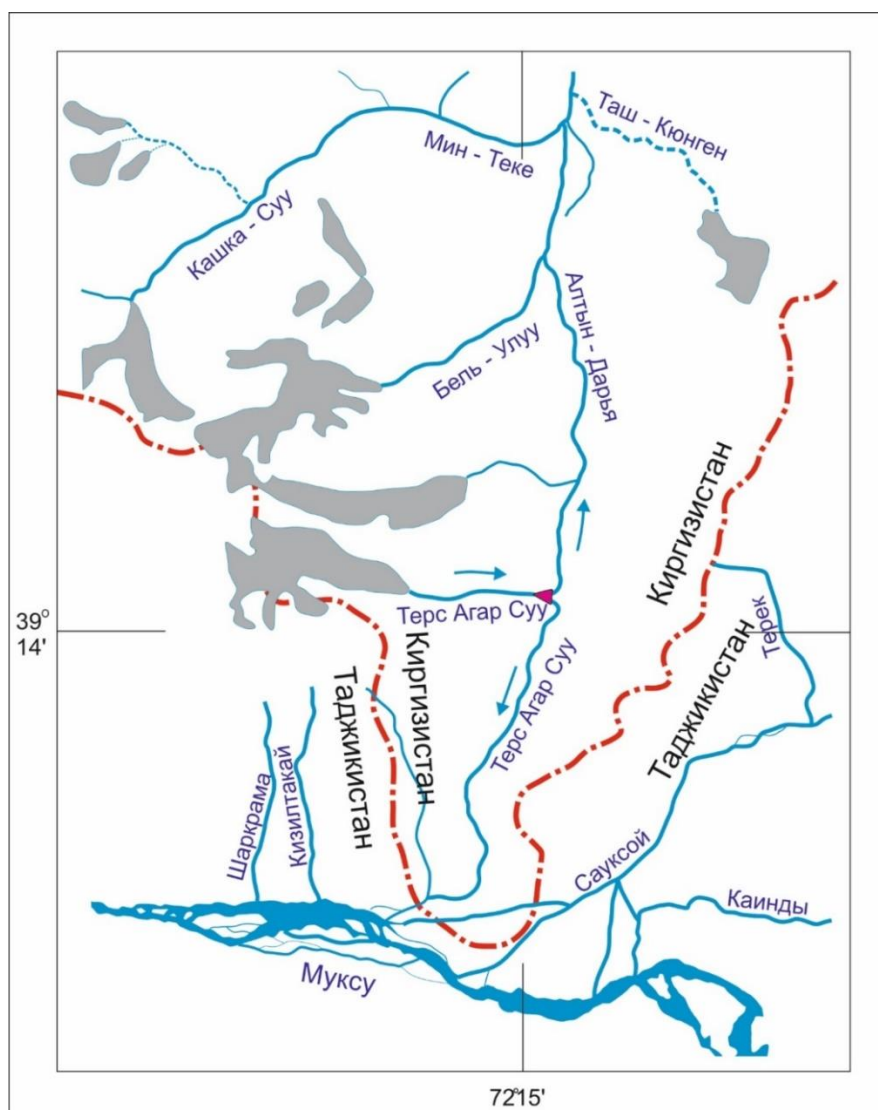
А другая (правая) бифуркация, на расстояние одного километра ниже, расположена на отметке 4059 м. абс., которая ответвляясь, течет к р. Базайи Гумбад.

Верховье р. Аксу, расположенное в Ваханском коридоре, является уникальным местом в Центральноазиатском регионе, здесь выявлено большое количество бифуркаций, являющихся в основном бифуркациями первого и второго типа. Эти явления фуркации можно называть бинарными. В частности, на незначительной по площади территории (20x40 км) на обеих

бортах долины выявлены более 15 рек, имеющих бифуркации.

Между бассейнами рек Базайи-Гумбад и Аксу линия перевала превышает высоту 4038 м. абс. и проходит через меридиан  $74^{\circ}07'$ . Однако на рельефе местности точка перевала практически не заметна, что является типичным признаком для Памирского нагорья.

## 12. Бифуркация у перевала Терс-Агар-Суу. – рисунок 2.11.



**Рисунок 2.11. - Бифуркация на р. Терс-Агар-Суу**

(рисунок разработанная автором)

Другое проявление бифуркации, которую в дальнейшем будем называть Терс-Агар, находится у пер. Терс-Агар, на Заалайском хребте. Она расположена на территории Кыргызстана, на высоте 3620 м. абс. ( $39^{\circ}14'25''$  с.ш.,  $72^{\circ}15'20''$  в.д.).

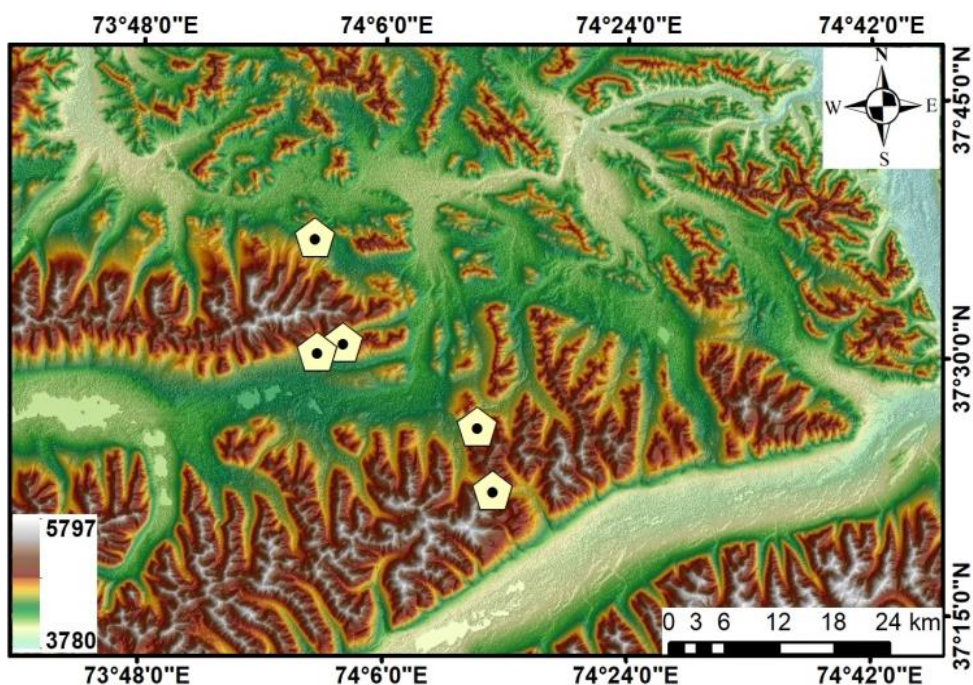


Река Терс-Агар-Суу, источником которой является ледник Зеленского, стекает 1,8 км с запада на восток, и почти на расстоянии 400 м от пер. Терс-Агар (3598 м. абс.) разветвляется. После ответвления правый проток с тем же названием стекает на юг, и протекая почти 8 км, у метеостанции Алтын Мазор, сливается в р. Заринруд (Муксу) на территории Таджикистана.

Другая речка, которая называется Алтын-Дарья, после ответвления от р. Терс-Агар-Суу, протекает 38 км на север и является притоком первого порядка р. Кызылсу. В свою очередь р. Кызылсу является притоком р. Сурхоб.

Массовое проявление бифуркации на такой небольшой территории приводит нас к мысли о том, что одним из факторов проявления этого природного явления является тектонические сдвиги литосферных плит. Так как рассматриваемая территория сдавливается с двух сторон (севера, северо-запада и юга, юго-востока) тектоническими плитами.

Из 12 рассмотренных нами явлений бифуркации - пять находятся восточнее оз. Зоркуль, в радиусе 25-ти километров (рисунок 2.12.).



**Рисунок 2.12. – Скопление точек бифуркации на юго-восточной части Таджикистана**  
(рисунок разработана автором на основе ArcGIS)

При распределении точек бифуркации по высотам видно, что кроме бифуркации на русле р. Пяндж у острова Даркад (520 м абс.) остальные расположены на высотах выше 3000 м абс. (рисунок 2.13.).



**Рисунок 2.13. - Расположение точек бифуркации по высотам**  
(рисунок разработанная автором)

Из этого следует, что выявленные нами бифуркации в отличие от ранее существующих проявлений бифуркации, являются высокогорными.

Линии водораздела у бифуркации на равнинных территориях, в отличие от горных рек, трудно определить. Но при этом на территориях с равнинным рельефом водные потоки рек разделяются на два или более русел, которые далее направляются в разные речные системы.

Разветвляющиеся реки формируют природные ландшафты, распределяя воду и наносы по речным равнинам и в дельтах. Симметричные бифуркации часто оказываются неустойчивыми, так что одна ветвь ниже по течению из бифуркации увеличивается, а другая уменьшается [119].

Одной из причин, по которым происходит явление бифуркации, является некоторая помеха или барьер на пути реки. Для образования бифуркации необходимы соответствующие условия, в частности, это выветриваемость пород, гидрологические характеристики реки, другие параметры территории, кроме этого, необходимы особые топографические характеристики местности. Бифуркация реки связывается с геологическими

процессами. В случае выполаживания дна ложины происходит «инверсия» стока, при этом даже незначительные характеристики местности или геологического строения, как состояние грунтов в данном рельефе, могут явиться причиной, по которой водный поток будет раздваиваться [63].

В основном более широко распространёнными являются сезонные или временные бифуркации (чаще второго типа). Данный тип бифуркации в основном наблюдается в период паводка и половодья на субравнинном рельефе, где ветвление потока за счёт обильных осадков и медленной скорости речного потока, при этом происходит образование аллювиальных островов.

На рисунке 2.14 приводим гидрографическую карту РТ с указанием месторасположения точек бифуркации (кроме Согдийской области, где явления бифуркации отсутствуют). Номера на карте (в кружочках) соответствуют порядковым номерам в таблице 2.1.

Другой причиной образования бифуркаций является работа и отступление ледников. Отступая, ледники оставляют некоторый слой мареновых остатков в виде аллювиальных отложений. Эти аллювиальные отложения образуют плоский рельеф, в результате течение реки пробивает себе не одно русло.

Тектонические зоны сменяются с юга на север и имеют в плане дугообразную форму с выгибом к северу. По описанию О.Е. Агаханянца, территория Памира выдавливается с двух сторон, и она, прижимаясь, приподнимается. И явление бифуркации на этом участке связано с современными неотектоническими движениями [6].

С точки зрения физического процесса бифуркация неустойчива. Если в одно русло поступает меньше наносов, чем в другое, то оно размывается, а другой канал получает больше, чем его транспортная вместимость, так что он заиливается. Следовательно, деление потока и наносов определяет бифуркацию, её стабильность или продолжительность отрыва [112].

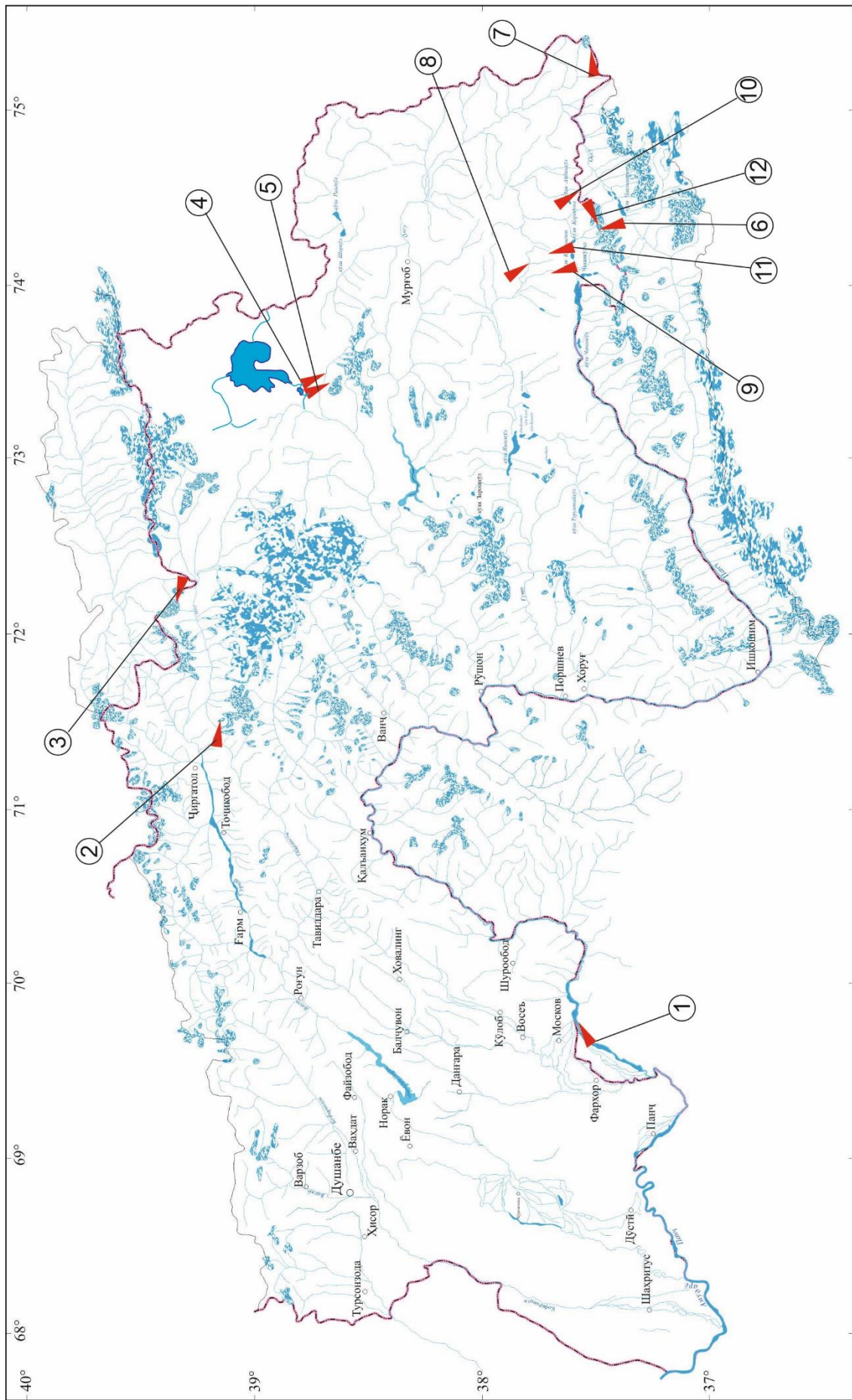


Рисунок 2.14. - Карта расположения точек бифуркации на территории РТ и соседних стран (рисунок разработана автором)



Устойчивость бифуркации определяется взаимодействием между распределениями воды и наносов между двумя ветвями. Эти распределения зависят от структуры потока и переноса наносов в районе непосредственно перед бифуркацией [116].

Бифуркации, происходящие в высокогорьях, являются наиболее устойчивыми по ряду причин:

1. У истоков рек, которые разветвляются, количество наносов по сравнению с низовьем намного меньше, что является основной причиной проявления и исчезновения бифуркации.

2. Наводнения и паводки на высотах свыше 3000 м абс. - явления редкие, и по этой причине бифуркации в высокогорьях более долговечные.

3. Горизонтальные и вертикальные деформации в высокогорьях (особенно на территории южного Памира) на порядок меньше, чем в низовьях.

4. Устойчивость бифуркации зависит от морфодинамической нестабильности поймы реки.

Следует отметить, что большинство явлений фуркации расположено на территориях, на которых исследователи нашли следы древнего земледелия. Изучение бассейнов рек и явлений фуркации в высокогорьях Памира способствуют перераспределению воды в дальнейшем для использования пашенных земель. В недалёком будущем, при таком темпе быстро изменяющегося климата, земли, расположенные на высокогорьях, могут стать орошаемыми.

Некоторые явления фуркации зафиксированы вблизи некоторых высокогорных озёр. В случае изменения уровня вод в этих озёрах, изменив русло разветвления одного из протоков искусственным путём, можно сохранить баланс вод в озёрах. Эти точки бифуркации могут послужить отличным географо-природным объектом для туристов. Следует отметить, что почти ко всем вышеуказанным точкам бифуркации на территории Таджикистана можно добраться на машине (внедорожнике).

Строительство крупных гидроэнергетических объектов, с помощью которых решаются важнейшие народнохозяйственные задачи, позволяет более рационально использовать воды горных рек страны.

Строительство водохранилищ позволяет искусственно зарегулировать водные стоки, соответственно, при этом водные ресурсы горных зон используются более рационально, вода используется не только гидростанциями, но при этом часть вод поступает в низинные зоны на орошаемое земледелие, а также имеется возможность снабжать города техническими и питьевыми водами.

С другой стороны, природа подарила нам такие естественные природные формы рельефа и физико-географические явления, как бифуркации, с помощью которых можно незначительным трудом, хотя и в малом количестве зарегулировать стоки.

Природные изменения составляющих речных стоков могут привести к опасным гидрологическим явлениям – снижению качества вод, негативным трансформациям ледовых явлений, деформации русел рек, маловодью, затоплению территорий. Эти явления могут быть, как следствием природных явлений, так и следствием хозяйственной деятельности человека.

Изучение явления бифуркации может пригодиться для орошения земель и предотвращения наводнений. Оросительная вода путём проведения больших и малых каналов берётся из основных рек и боковых речек, ручьев и родников. В реках, где происходит их разветвление (бифуркация рек), следует всего лишь перенаправить воду с одного протока на другой.

После ответвления протоки некоторых из выявленных нами явлений бифуркации сливаются в озёра. Уровень воды в высокогорных озёрах не всегда постоянный. В случае изменения уровня вод в высокогорных озёрах, изменив русло разветвления одного из протоков искусственным путём, можно сохранить баланс вод в озёрах.

Отметим, что явление бифуркации также может иметь негативные последствия. Негативность проявляется в том, что при русловых

деформациях в точках разветвления может нарушаться количество вод в протоках, и тогда один из протоков с истечением какого-либо промежутка времени высыхает. Например, две из выявленных нами точек бифуркации расположены в приграничных зонах соседних республик. В этом случае в одном из бассейнов нарушается водный режим. Такое явление сейчас и происходит в русле р. Пяндж (нижнее течение).

Осушение одного из протоков может произойти, как естественным путём, так и антропогенным.

В северной части острова Даркад (в нижнем течении р. Пяндж) с таджикской стороны длина берегоукрепительных дамб составляет более 15 км, а в южной части острова (на территории ИРА) - всего 5 км. Несмотря на такую разницу по длине, основная масса воды р. Пяндж перенаправлена на правый приток, где в сезон половодья доставляет немало хлопот приграничным землям, расположенным на севере от острова.

Явления бифуркации, происходящие на реках, разделяющих границу стран по фарватеру, также могут отрицательно повлиять на отношение соседних стран друг к другу. Русла рек не всегда устойчивы. Наиболее существенное влияние на линию границ, разделяющих по фарватеру, оказывают разветвлявшиеся реки. Потому что вода в протоках не всегда одинакова и постоянна, и она может изменить своё русло в любой сезон половодья или паводка.

В прошлом и нередко в настоящее время река Зеравшан изменяла своё русло, многие земли при этом оставались без достаточного количества воды, при этом необходимо было выполнять дополнительные работы по наращиванию водозахватных шпор, а также строить новые накопительные водоёмы. Недосток в оросительной воде вызывал недополивы и как следствие, снижение урожайности сельскохозяйственных культур. В связи с таким нерегулируемым водораспределением на территории Таджикистана низовья долин могли страдать, как от избытка воды, так и от её недостатка. Исходя из этого, в долине р. Зеравшан одним из самых насущных вопросов

являлся вопрос об урегулировании водораспределения в различных частях Зеравшанской долины. Решение этого вопроса заключалось в строительстве на р. Зеравшан гидротехнических узлов с включением в них групп магистральных каналов, что и было сделано в основном в советские времена [58].

Географически территория Таджикистана расположена таким образом, что в неё стекают все виды рек: горные, предгорные и равнинные.

## **2.2. Гидрографические сети рек и их изменения**

Прежде чем приступить к оценке гидрографической сети бассейнов исследуемых рек, приведём краткую характеристику водных режимов рек Таджикистана и их гидрографию, которые ранее исследовались в работах [22, 23, 29, 45 и др.].

На территории Таджикистана гидрографическая сеть насчитывает более 25 тысяч водотоков, общая протяжённость которых составляет 69,2 тысяч км, среди которых водотоки протяжённостью менее 10 км составляют 96%, а их общая протяжённость от суммарной длины всех водотоков страны равна примерно 67%.

На всей территории, отнесённой к бассейну р. Амударьи, насчитывается 40615 рек, в том числе 2289 бессточных рек, не связанных с Амударьей бассейнов озёр Ховар (Каракуль), Ранкуль, Куруккуль и р. Шухоб (Маркансу). Из этого количество 39212 рек, т.е, 96% составляют самые малые реки длиной менее 10 км, общая длина которых, равная 74198 км, составляет 66% общей длины всех рек [33].

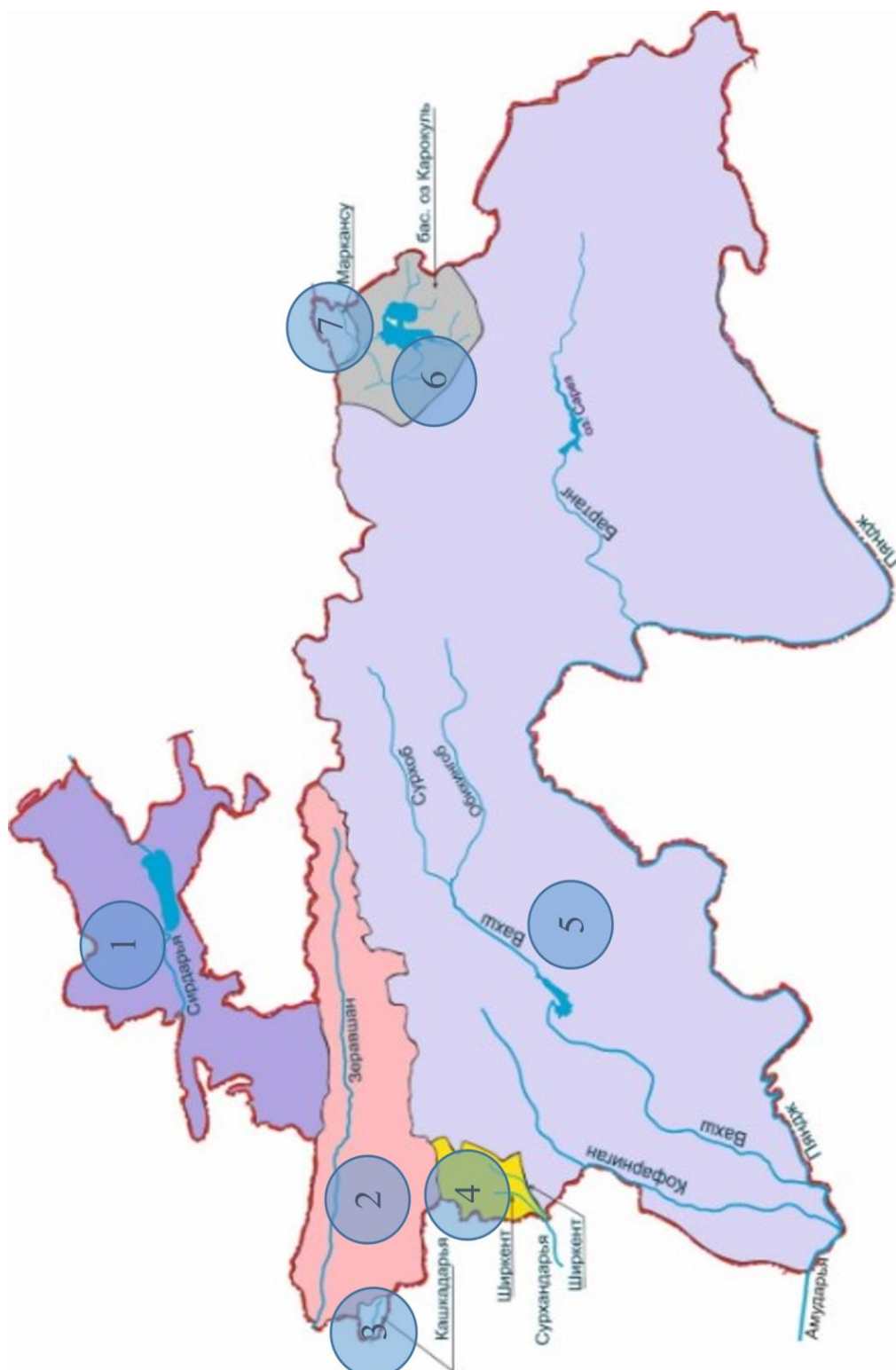
Необходимо отметить, что общая протяжённость каналов и коллекторов (оросительная сеть) в 2020 году составила 30,3 тысяч км, данная величина близка к половине общей протяжённости всех водотоков Таджикистана, а также на основании этого плотность гидрографической сети увеличилась от 0,6 до 1.0 км/км<sup>2</sup> [57].

Основное направление течения средних и больших рек с востока на запад – соответствует общему широтному простираению большинства горных хребтов. Иногда направление горных хребтов не всегда совпадает с водоразделами отдельных бассейнов. Так, например, реки Фандарья, Кштут и Могияндарья прорываются через Зеравшанский хребет, реки Караишхона, Ярхич и Сарбо -через Каратегинский хребет. Эти прорывы доказывают, что реки существовали до возникновения хребтов, которые пропитывались реками по мере поднятия.

Истоками большинства рек Таджикистана являются ледники. У некоторых ледников реки протекают по широким троговым долинам. Эти реки, принимая множество притоков, быстро становятся бурными потоками и стремятся вниз по ущельям.

Описание бассейна р. Зеравшан подробно дано в работах [3, 40, 45, 78 и др.]. В бассейне р. Зеравшан нами зарегистрировано 992 рек, речек и ручейков с обоих берегов, являющимися притоками реки Зеравшан [5-F]. Из того количества рек 121 - являются притоками первого порядка, то есть непосредственно втекающих в р. Зеравшан. 65 рек стекают на правом (с южной экспозиции Туркестанского хребта) и 56 на левом берегу с северной части Зеравшанского хребта. Устья рек, которые стекают на правом берегу, начинаются с высоты 920 м. абс. (Хонакосой), а на левом берегу устья рек начинаются с высоты 929 м. абс. (Камартошсой). Самой высокой (восточной) из притоков правого берега является речка, не имеющая официального названия, с устьем, расположенном на высоте 2798 м. абс., и р. Парак с левого берега с устьем на высоте 2803 м. абс.

Территория Таджикистана отличается хорошо развитой речной сетью, которая водораздельными возвышенностями делится на семь гидрологических бассейнов; Сырдарья, Зеравшан, Кашкадарья, Сурхандарья, Амударья, Ховаркуль (Каракуль) и Маркансу (рисунок 2.15.).



**Рисунок 2.15 - Карта гидрологических бассейнов Таджикистана (1 – бассейн реки Сырдарья, 2 – бассейн реки Зеравшан, 3 – бассейн реки Кашкадарья, 4 – бассейн реки Ширкент, 5 – бассейн реки Сурхандарья, 6 – бассейн реки Амударья, 7 – бассейн озера Ховаркуль (Каракуль) и 7 – бассейн реки Маркансу) (рисунок разработанная автором)**

У подножья долинных ледников, где долины расширены намного больше, чем в низовьях, средний уклон речных русел на этих участках не превышает 1-5 м/км (рисунок 2.16.).

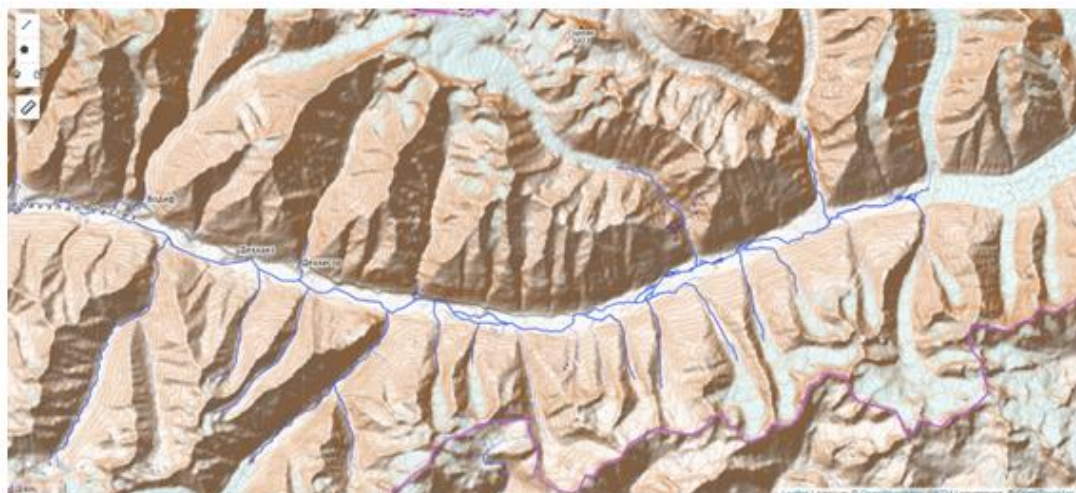


**Рисунок 2.16. - Долина р. Матча у языка ледника Зеравшан**

(рисунок: фото автора)

Долину р. Зеравшан на территории РТ можно разделить на две части: горную - от кишлака Даштиказы (Дашти Козы) и выше, и среднюю – от Даштыказы до Пенджикента.

Такие широкие долины с очень малыми перепадами средних уклонов можно заметить у истоков рек Пянджа, Зеравшана и Обихингоу. Также на фотографиях, снятых с космоса, отчётливо видно, что в верховьях рек, которые питаются за счёт ледников, ширина русла рек у языка ледников намного шире, чем в средних частях долин. И пойма рек здесь намного более развита (рисунок 2.17.).



**Рисунок 2.17. - Бассейн реки Зеравшан (у верховья)**

(рисунок разработанная автором на основе снимков Гугл)



Долина р. Зеравшан от границы с Республикой Узбекистан (плотина Хожаработ) до ледника Зеравшан чередуется пойменными и беспойменными руслами. Например, от границы с Республикой Узбекистан до кишлака Даштикозы на обоих берегах реки наблюдаются поймы, которые периодически становятся руслом реки. Ниже с. Даштиказы до плотины Ходжаработ русло реки постепенно расширяется и пойменные территории здесь развиты. У низовья реки, у кишлака Чубот русло и поймы намного шире, где в некоторых местах доходят до 2-х километров.

Выше этого кишлака Дашти Казы до с. Худгифи Офтоб, Кухистони Матчинского района река течёт по узкой глубоко выработанной долине, по устойчивому руслу на расстояние 146 км. Здесь местами встречаются поймы, маленькие островки, которые на устойчивость русла реки не влияют.

У некоторых притоков, стекавших с южного склона Туркестанского хребта, наблюдается глубокое врезание. Глубина некоторых склонов доходит до 50 м и более с вертикальными перепадами (рисунок 2.18.).



**Рисунок 2.18. - Глубокое врезание русла реки в Горном Матче**

(рисунок: фото автора)

Самыми широкими руслами в этом интервале являются поймы с шириною около 400 м у подножья с. Даштикозы (длиной около 1,5 км) и у подножья с. Урметан в местечке Гистон, шириной около 360 метров (длиной около 1 км). Пойма расположена в узком интервале длиной не более 1,5 км. Самым узким местом в русле р. Зеравшан является место у моста с.



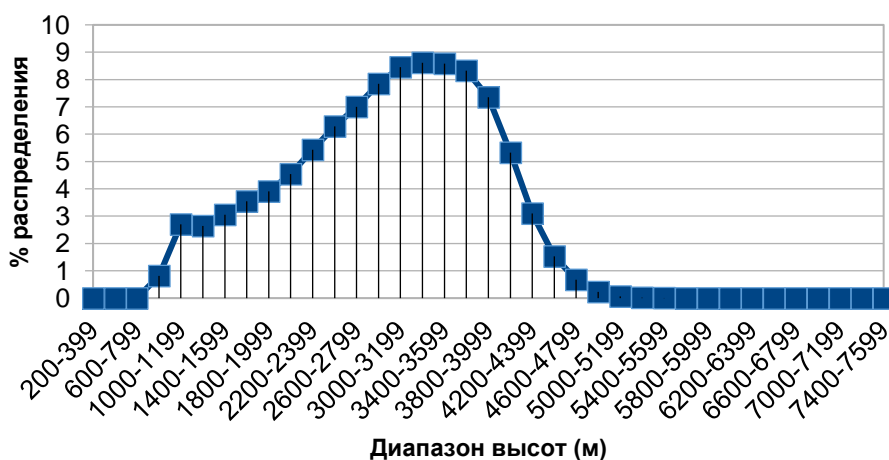
Хайрабад, 15,5 м (ниже притока Фандарьи) и 6,3 м - у моста к кишлаку Дарх, и самым узким можно считать подножье с. Шамтуч, где ширина около 5 м. Самыми широкими участками пойм от селений Худгиф до ледника являются участки выше с. Водиф, где ширина пойм и русла достигает почти 1 км.

Селевые потоки, которые образуются у притоков р. Зеравшан, с обоих берегов выносят с собой огромное количество наносов. Эти наносы, заполняя берега, прижимают поток к противоположному берегу. В большинстве притоков р. Зеравшан почти каждый год сходят сели. У устья рек иногда эти наносы перегораживают русла основных рек. В результате современных движений в области устойчивых поднятий, в Таджикистане образовались мощные горные сооружения, высочайшие в регионе, и межгорные впадины в местах устойчивого пригибания и накопления продуктов сноса. Под воздействием экзогенных процессов сформировались крайне разнообразные формы рельефа, которые можно сгруппировать в две основные категории: денудационную и аккумулятивную [79].

В бассейне р. Зеравшан повсеместно можно заметить развитой аккумулятивный рельеф. В разные исторические времена на территории Зеравшанской долины несколько раз наблюдались оползни, которые перекрывали русло р. Зеравшан и его притоков. На древних исторических картах путешественники указывают озеро в средней части Зеравшанской долины. О его существовании указано также в книге В.В. Бартольда, где оно находилось выше города Буджакента (нынешнего Пенджикента) [10]. Это указывает на то, что долина р. Зеравшан в своей истории претерпела значительные русловые деформации.

Таджикистан горная страна и высотное распределение площадей в нём весьма разнообразно, особенно в рассматриваемых нами бассейнах рек. Ниже подробно остановимся на высотную поясность водосборов асейна реки Зеравшана, Обихингоба и Пянджа.

Высотную поясность распределение водосбора бассейна р. Зеравшан, определённую различными методами, приведём в виде диаграммы (рисунок 2.19.).



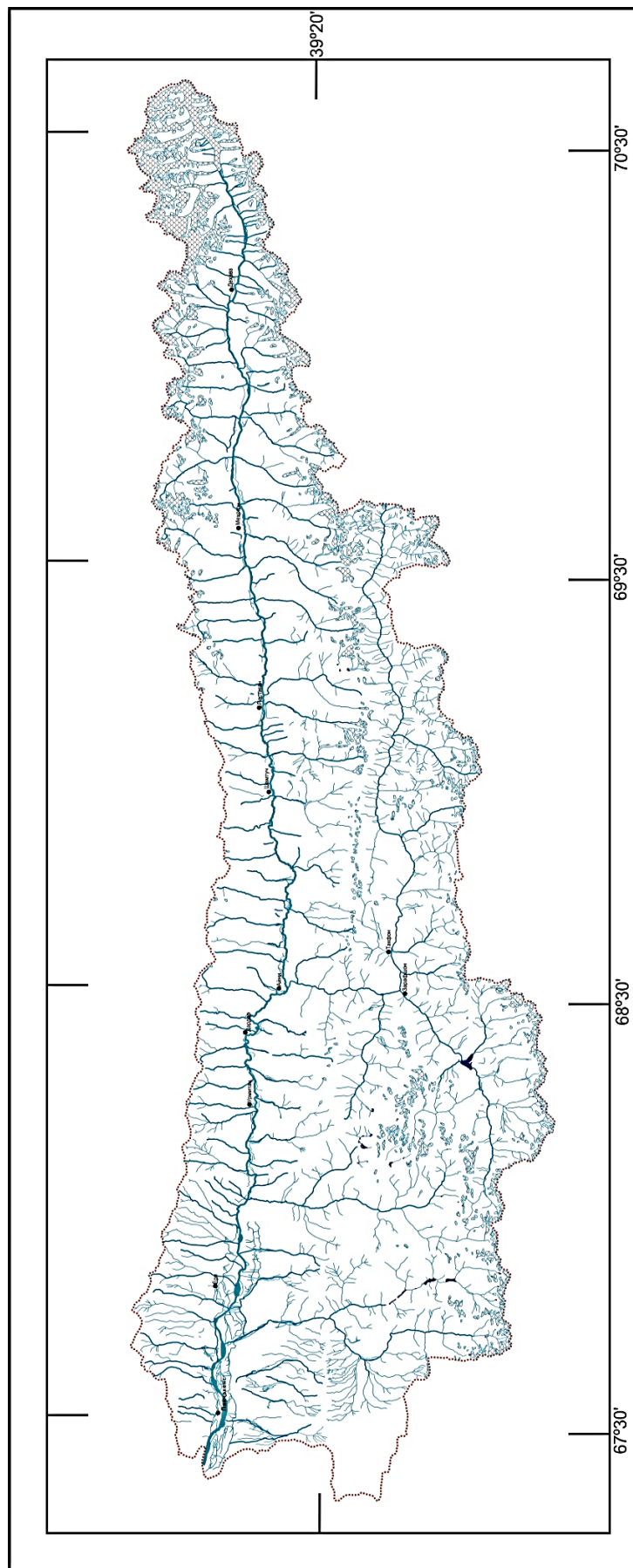
**Рисунок 2.19. - Диаграмма высотного распределения бассейна р. Зеравшан в процентном соотношении (рисунок разработанная автором)**

В таблице 2.2. приведён данные распределения высот рельефа в бассейне р. Зеравшан в процентном и в площадном соотношении.

**Таблица 2.2. - Распределение высот в бассейне р. Зеравшан**

Диапазон высот, м абс.	%	Площадь, км <sup>2</sup>	Диапазон высот, м абс.	%	Площадь км <sup>2</sup>
800-999	0,8	103,6	3200-3399	8,6	1089,7
1000-1199	2,7	342,1	3400-3599	8,6	1085,7
1200-1399	2,6	333,6	3600-3799	8,3	1053,3
1400-1599	3,1	386,6	3800-3999	7,3	929,8
1600-1799	3,5	448,0	4000-4199	5,3	673,5
1800-1999	3,9	494,2	4200-4399	3,1	392,2
2000-2199	4,5	575,2	4400-4599	1,5	192,9
2200-2399	5,4	687,2	4600-4799	0,7	84,8
2400-2599	6,3	794,7	4800-4999	0,2	29,3
2600-2799	7,0	885,1	5000-5199	0,06	7,9
2800-2999	7,9	991,8	5200-5399	0,01	1,6
3000-3199	8,5	1070,1	5400-5599	0,001	0,14
			Мин.высота	874 м абс.	
<b>Всего</b>	<b>100,0</b>	<b>12653,02</b>	Макс.высота	5463 м абс.	

На рис. 2.20. приводится гидрографическая сеть бассейна р. Зеравшан.



**Рисунок 2.20.** - Гидрографическая сеть бассейна реки Зеравшан (рисунок разработана автором)

Как видно из таблицы 2.2., распределение высот в этом бассейне находится в пределах от 800 до 5509 м. абс. (пик Пирамидальный).

Общая площадь водосбора р. Зеравшан при детальном обследовании с помощью программы ArcGIS по состоянию на 31.12.2021 г. составляла 12653,015 км<sup>2</sup>, а по измерениям, проводимым до 1978 г., этот показатель составлял 12300 км<sup>2</sup> [40].

Больше всего в этом бассейне (более 61%, точнее 61,48%) преобладают высоты с показаниями от 2600 до 4200 м абс., площадь которых равна 7779 км<sup>2</sup>. Разница высот от самой верхней точки (5509 м. абс. - пик Пирамидальный) до самой низкой точки (870 м. абс. у плотины Ходжа-Рават) составляет 4639 м. абс.

Всего около 1% площади приходится на высоте от 800 до 999 м. абс. в бассейне р. Зеравшан.

В гидрографическом отношении бассейн р. Зеравшан можно разделить на две области: водосборная и пустынная.

Основной сток формируется в основном восточнее плотины Ходжаработ, где начинается «Зеравшанская котловина», и она тянется до самого ледника Зеравшан. На рисунке 2.21. приведём анаморфическую карту бассейна р. Зеравшан.

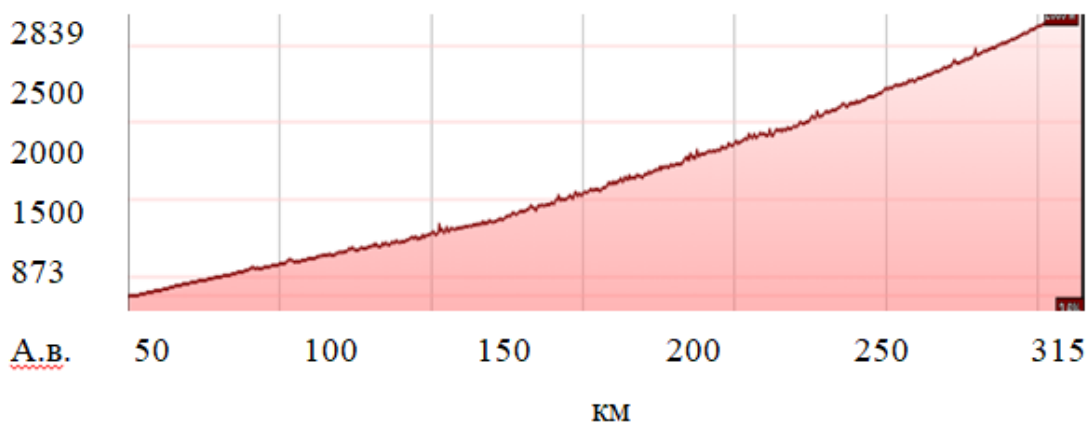


**Рисунок 2.21. - Анаморфическая карта водосбора и расхода воды р. Зеравшан (рисунок разработана Ниёзовым А.С.)**

Восточнее устья р. Могияндарьи вода р. Зеравшан в основном разбирается на орошение. Как видно из рисунка 2.21., до выхода из котловины вода накапливаясь, движется на запад, а после выхода постепенно уменьшается до слепого устья.

Данные о реках, имеющих протяжённость <10 км, в таблицах не указаны, но при расчётах (классность рек, водность, количество притоков и т.п.) некоторые параметры малых рек в диссертации учитывались.

Продольный профиль р. Зеравшан почти прямолинейный. На рисунке 2.22. приведена кривая профиля реки от границы с Республикой Узбекистан до самого языка ледника Зеравшан. Средний уклон русла ( $i$ ) на расстоянии 315 км равняется 0,9% или 6,16 м/км.



**Рисунок 2.22. - Продольный профиль р. Зеравшан**  
(рисунок разработана автором)

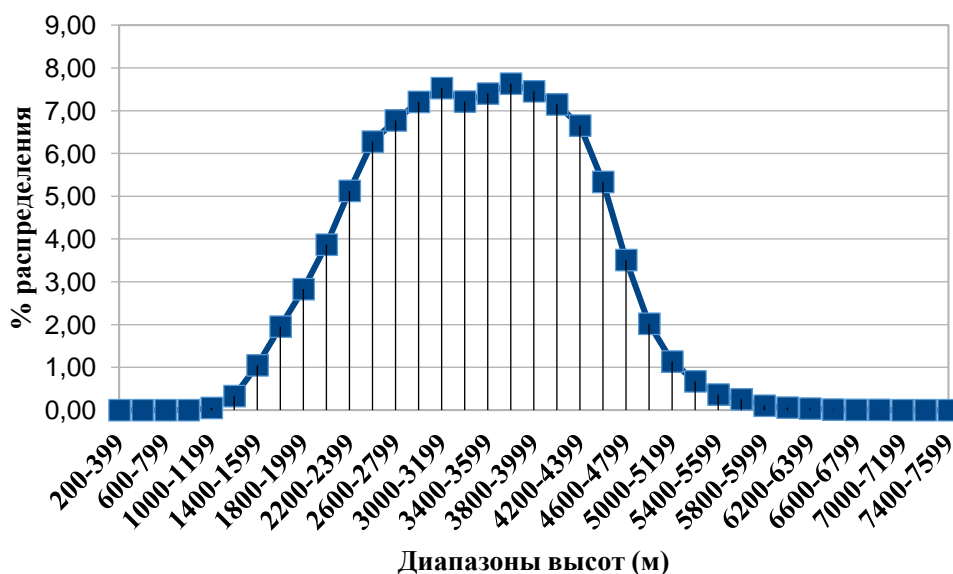
Бассейн р. Обихингоу – одной из составляющих р. Вахш, имеет в целом широтное простирание. Протяжённость бассейна с запада на восток около 180 км, с севера на юг в наиболее широкой, средней его части – более 70 км. Площадь бассейна 6660 км<sup>2</sup>. Площадь бассейна, измеренная нами с помощью программы «Гугл Земля Про» и на основании анализа данных распределения высот согласно программы ArcGIS, дали значение 6606 км<sup>2</sup>.

О геолого-геоморфологические особенности бассейна р. Обихиногу подробно описано в работе Фазылова Дж.Н. [83].

На севере хр. Петра Первого служит границей долин рек Заринруд (Муксу) и Сурхоб; на востоке хр. Академии Наук разделяет ледники бассейна р. Обихингоу и систему ледника Федченко; на юге, за Дарвазским хребтом расположен бассейн р. Ванч. Большие абсолютные высоты хребтов, окаймляющих долину р. Обихингоу, и благоприятное расположение бассейна по отношению к основным влагонесущим потокам – западному и юго-западному - определяют высокую степень оледенения бассейна – в целом 11%, несмотря на то что 1/4 часть территории в низовьях бассейна р. Обихингоу вообще лишена ледников [39].

На высоте 2600 м абс. все три потока, собирающие воды ледников верхней части бассейна р. Обихингоу, – реки Гармо, Киргизоб и Бохуд – соединяются вместе на широкой пойме.

От устья до истока, р. Обихингоу протекает около 180 км. Общее падение реки на этом участке более 1400 м при среднем расходе воды в устье около 200 м<sup>3</sup>/сек. От истока до кишлака Арзинг и между кишлаками Миёнаду и Лянгар река течёт в ущелье глубиной до 200-300 м, над ущельем, как правило, расположена терраса шириной 2-3 км [30]. На рисунке 2.23. в виде диаграммы приводим распределение высот бассейна р. Обихингоу.



**Рисунок 2.23. - Диаграмма распределения высот в бассейне р. Обихингоу (рисунок разработана автором)**

Наибольшая площадь бассейна р. Обихингоу (81,75%) расположена на высотах от 2200 до 4600 м абс.

Распределение высот в бассейне р. Обихингоу приводится в таблице 2.3. Самая низкая точка в этом бассейне расположена на месте сливания р. Обихингоу с р. Сурхоб, на 1148 м. абс., а самая высшая точка имеет отметку 7495 м. абс. (пик И. Сомони (ранее Коммунизма)).

Таблица 2.3. - Высотное распределение бассейна р. Обихингоу

Диапазон высот, м	%	Площадь, км <sup>2</sup>	Диапазон высот, м	%	Площадь, км <sup>2</sup>
1000-1199	0,051	3,41	4200-4399	6,65	439,34
1200-1399	0,326	21,55	4400-4599	5,33	352,31
1400-1599	1,048	692,4	4600-4799	3,51	231,74
1600-1799	1,950	128,8	4800-4999	2,02	133,21
1800-1999	2,827	186,8	5000-5199	1,14	75,16
2000-2199	3,866	255,4	5200-5399	0,67	44,24
2200-2399	5,128	338,8	5400-5599	0,39	24,36
2400-2599	6,282	415,1	5600-5799	0,25	16,61
2600-2799	6,773	447,5	5800-5999	0,1	6,8
2800-2999	7,206	476,1	6000-6199	0,09	3,9
3000-3199	7,529	497,4	6200-6399	0,03	2,24
3200-3399	7,216	476,8	6400-6599	0,01	0,92
3400-3599	7,398	488,8	6600-6799	0,005	0,35
3600-3799	7,634	504,4	6800-6999	0,005	0,32
3800-3999	7,456	492,7	7000-7199	0,002	0,09
4000-4199	7,148	472,3	7200-7399	0,001	0,05
			До 7495	<0,001	0,01
Всего:				100	6606,45

Площадь высот более 5000 м абс. в бассейне р. Обихингоу составляет 175 км<sup>2</sup> (2,65% от общей площади), а в бассейне р. Зеравшан - 9,66 км<sup>2</sup> (0,076% от общей площади бассейна реки). Хотя площадь бассейна р. Обихингоу почти в два раза меньше чем бассейна р. Зеравшан, но



На рисунке 2.24. приводится гидрографическая карта бассейна р. Обихингоу.

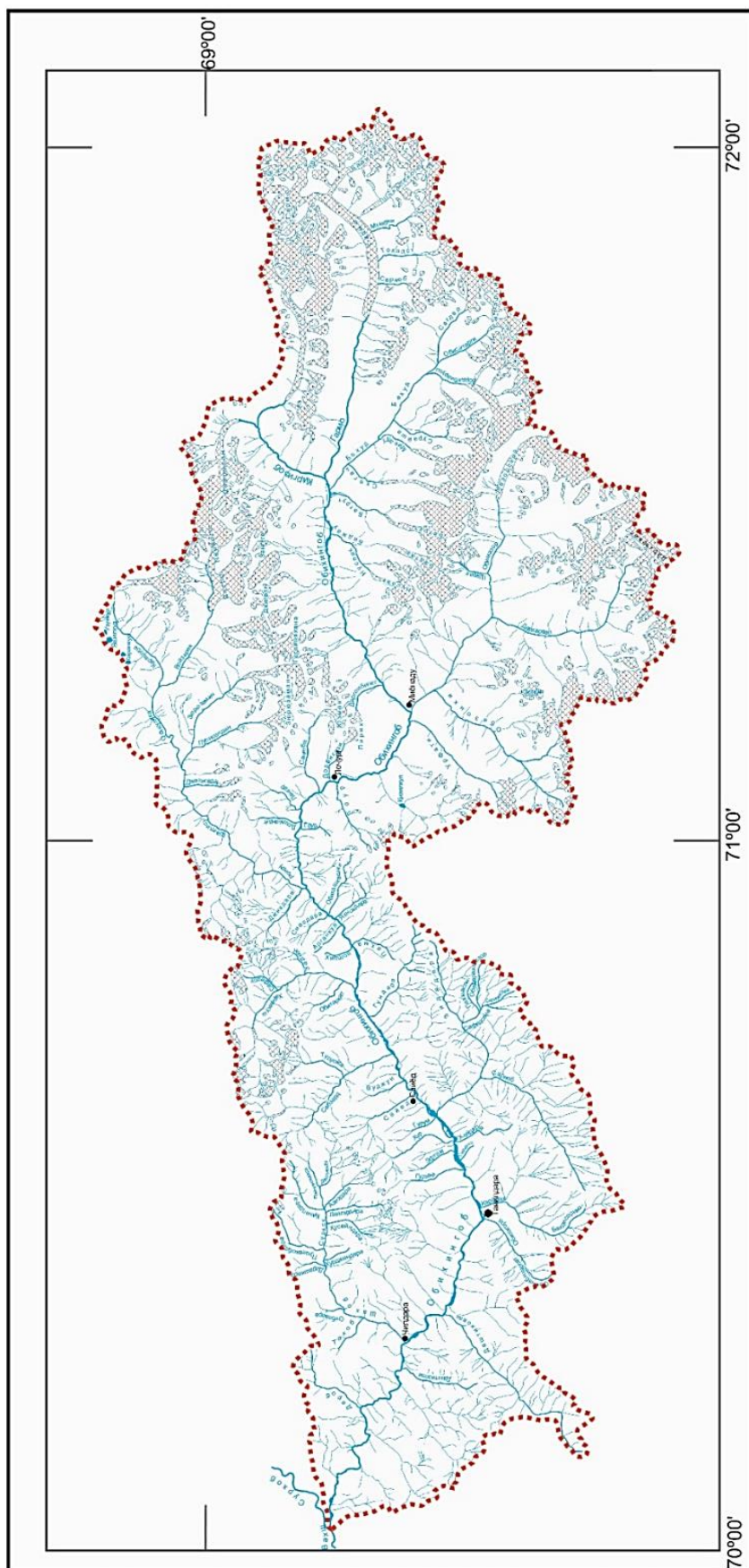


Рисунок 2.24. – Гидрографическая карта бассейна реки Обихингоу (рисунок разработана автором)



высокогорье с высотой более 5000 м. абс. преобладают в десятки раз. Из этого следует, что способности бассейна р. Обихингоу к руслоформированию значительно больше, чем в бассейне р. Зеравшан.

Как видно из таблицы 2.3., у обоих бассейнов наибольшая территория расположена на высотах 2200-4200 м. абс.

Сверка диапазонов высотного расположения площадей по бассейнам рек Зеравшан и Обихингоу (по процентам и по площади в квадратных километрах (км<sup>2</sup>)) приводится на таблице 2.4.

Таблица 2.4. – Распределения высот по бассейнам р. Обихингоу и Зеравшан

Бассейн р. Обихингоу			Бассейн р. Зеравшан		
Диапазон высот, м	%	Площадь, км <sup>2</sup>	Диапазон высот, м	%	Площадь, км <sup>2</sup>
1000-1199	0,1	3,41	800-999	0,8	103,6
1200-1399	0,3	21,6	1000-1199	2,7	342,1
1400-1599	1,0	692,4	1200-1399	2,6	333,6
1600-1799	1,9	128,8	1400-1599	3,1	386,6
1800-1999	2,8	186,8	1600-1799	3,5	448,0
2000-2199	3,9	255,4	1800-1999	3,9	494,2
2200-2399	5,1	338,8	2200-2399	5,4	687,2
2400-2599	6,3	415,0	2400-2599	6,3	794,6
2600-2799	6,4	447,5	2600-2799	7,0	885,1
2800-2999	7,2	476,9	2800-2999	7,8	991,8
3000-3199	7,5	497,4	3000-3199	8,5	1070,1
3200-3399	7,2	476,7	3200-3399	8,6	1089,7
3400-3599	7,4	488,8	3400-3599	8,6	1085,7
3600-3799	7,7	504,4	3600-3799	8,3	1053,3
3800-3999	7,5	492,6	3800-3999	7,3	929,8
4000-4199	7,1	472,3	4000-4199	5,3	673,5
Всего	100	6606,45		100	9260,91

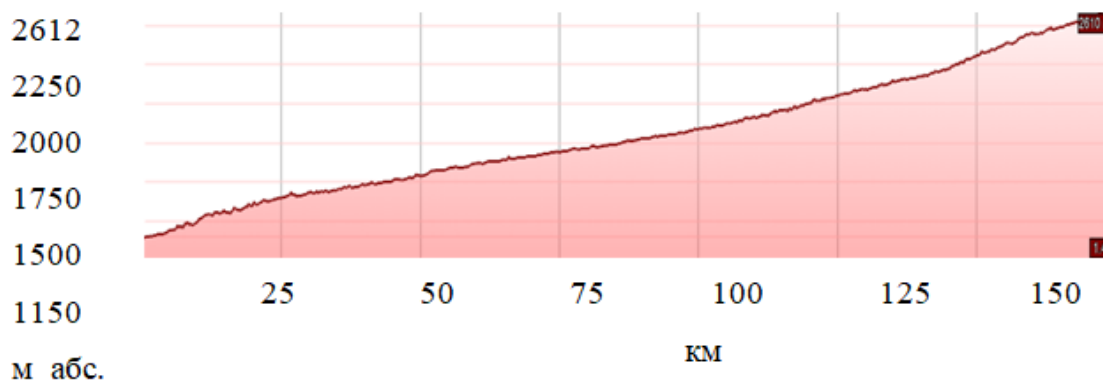
Русло р. Зеравшан намного шире, чем русло р. Обихингоу. Но и здесь наблюдается поочерёдное сужение и расширение поймы. Самая широкая

пойма р. Обихингоу наблюдается у его истоков, от с. Арзинг до слияния четырёх его притоков; Гармо, Киргизоб, Бахуд и Батруд с шириной почти до 2-х км и длиной более 10 км. Начиная с высоты 2480 до 2650 м. абс.

Ниже по течению от с. Арзинг до самого устья такие широкие в бассейне р. Обихингоу поймы больше не встречаются.

Профиль и заполнение дна долины наносами у верховьев рек Зеравшан и Обихингоу очень схожи. В устье р. Обихингоу, где на высоте 1148 м абс. она сливается с р. Сурхоб, ширина её поймы более 600 м. И такую ширину пойма сохраняет вверх по течению до узкой горловины, ширина которой 65 м. От устья до этой горловины расстояние составляет более 5,1 км. У устья реки явно выражена послойная выработка дна русла реки.

На рисунке 2.25. приводим уклон продольного профиля р. Обихингоу, где средний уклон от устья до истока составляет 8,1 м/км.

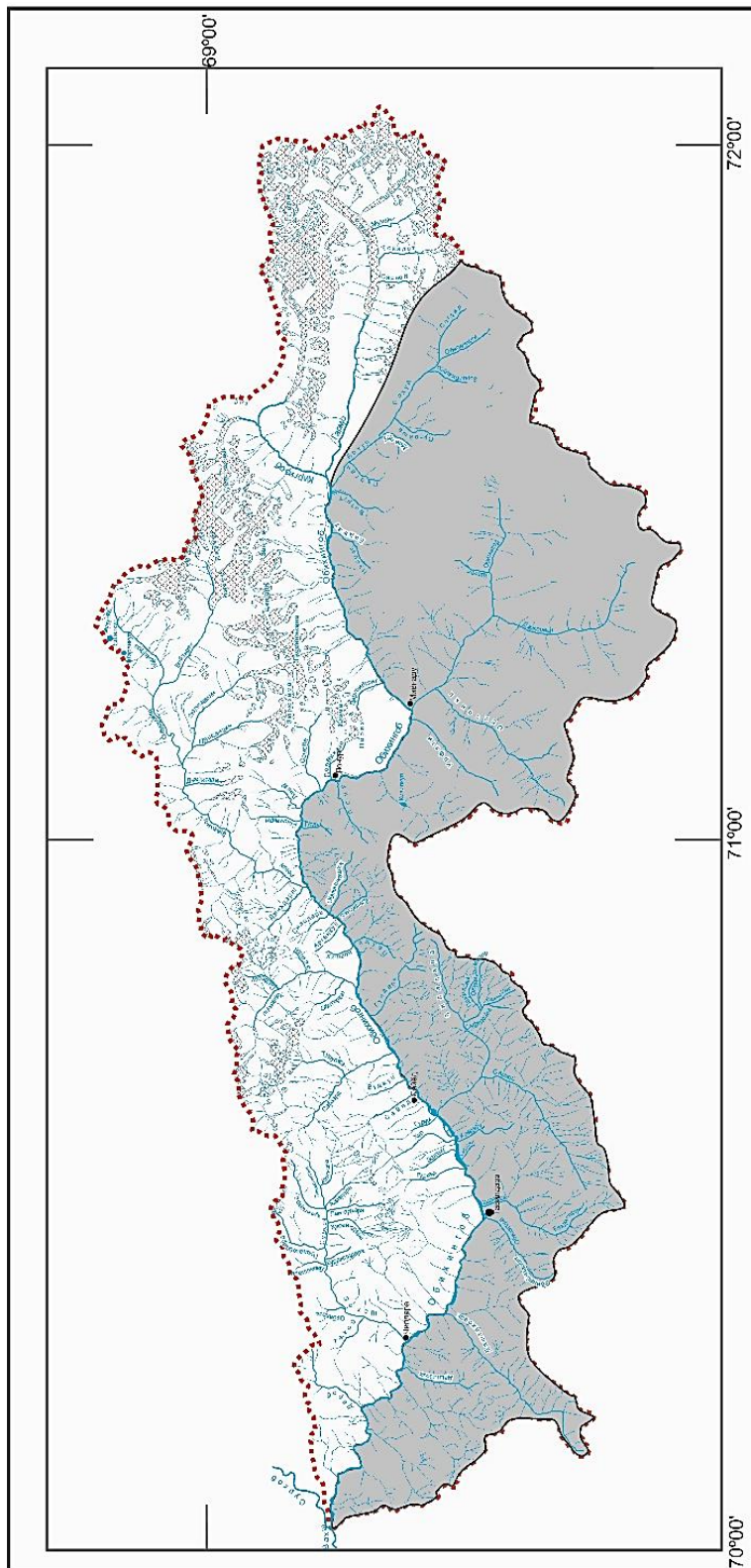


**Рисунок 2.25. - Продольный профиль р. Обихингоу**  
(рисунок разработана автором)

В бассейне р. Обихингоу нами зарегистрированы 1194 рек, речек и ручейков (саи) разного порядка с обоих берегов, являющихся притоками р. Обихингоу. Из того количества 168 рек являются притоками первого порядка, непосредственно впадают в р. Обихингоу, 95 рек стекают на правом и 73 на левом берегу. Устья рек, которые стекают на правом берегу, начинаются с высоты 1217 м. абс., а на левом берегу устья рек начинаются с

высоты 1420 м. абс., и самый высокий из притоков (р. Гармо - правый и Бахуд - левый приток) с обоих берегов находится на высоте 2612 м. абс.

По обоим берегам р. Обихингоу площадь бассейна распределена почти симметрично (равномерно) (рисунок 2.26.).



**Рисунок 2.26. – Распределение площадей и притоков по берегам р. Обихингоу**  
(рисунок разработана автором)

Классность р. Обихингоу, согласно числу Стралера, относится к шестому классу.

Общая площадь водосборного бассейна р. Обихиноу, по нашим вычислениям, равнялась 6606 км<sup>2</sup>. Из этой площади 3274 км<sup>2</sup> (49,57%) приходится на левый берег (окрашено серым цветом) и 3332 км<sup>2</sup> (50,43%) - на правый берег этого бассейна.

Средняя высота истоков рек, стекающих непосредственно в р. Обихингоу, составляет 2885,3 м. абс. Средняя высота правого берега 2904 м. абс., а левого - 2861,2 м. абс.

Средняя длина рек, являющихся притоками первого порядка р. Обихингоу, -5,93 км.

Общее количество рек и ручейков правого берега – 536. Средняя длина притоков – 3,46 км, общая длина всех рек с притоками равна 1854,2 км. Густота речной сети на правом берегу равна 0,55 км/км<sup>2</sup>.

Общее количество рек и ручейков левого борта долины р. Обихингоу – 657. Средняя длина притоков – 3,05 км, общая длина всех рек с притоками равна 2005,6 км. Густота речной сети на левом берегу равна 0,61 км/км<sup>2</sup>.

Как было указано выше, общее количество рек и ручейков в бассейне р. Обихингоу –1193. Средняя длина притоков в бассейне реки – 3,24 км, общая длина всех рек с притоками равна 3859,84 км. Густота речной сети бассейна равна 0,58 км/км<sup>2</sup>.

По всей длине р. Обихингоу с обоих берегов наблюдаются многочисленные селевые отложения.

Почти из каждого притока сели впадали в р. Обихингоу, при этом вынося с собой огромное количество наносов. Эти наносы иногда перегораживали реку на какое-то время, в результате чего за этими перегородками образовались озёра. Переполаясь, новообразованные озера в русле реки переливались через наносовый барьер и, постепенно смывая наносы, река возвращалась в прежнее русло. Если наносы или валуны

перекрывали реку, то река полностью не возвращалась в прежнее русло, и с истечением какого-либо промежутка времени заполняясь наносами на месте образованного озера, происходило образование широкой поймы, а река посреди этих пойм пробивала себе новое русло. Иногда селевые выносы выталкивают реку на противоположный берег, в результате чего поток реки пробивает себе новое русло у наиболее неустойчивых (размываемых) участков берега.

По всей долине р. Обихингоу наблюдаются сотни конусов выносов, которые закрепились у берегов. Высота этих конусов иногда достигает десятков метров, и на их плато поселялись люди, создавая сёла и посевные земли. Почти 90% поселений вдоль долины рек Зеравшан и Обихингоу находятся на террасах, созданных выносами селевых потоков.

Основной причиной русловых деформаций в бассейне р. Обихингоу являются селевые наносы. Каждый год почти со всех притоков бассейна р. Обихингоу наблюдается сход селевых потоков, которые наносят значительный ущерб хозяйствам Сангворского района.

Также в долине р. Обихингоу можно заметить много оползней вдоль берегов. В основном, большая часть этих оползней находится на правом берегу.

В бассейне р. Обихингоу нами зарегистрировано 50 больших и малых озёр, общая площадь которых равна 1239551 м<sup>2</sup> (1,24 км<sup>2</sup>). Из этого количество 30 находятся на правом берегу с площадью 703763 м<sup>2</sup> (0,7 км<sup>2</sup>), остальные 20 озёр находятся на левом берегу с площадью 535788 м<sup>2</sup> (0,54 км<sup>2</sup>). Ранее на топографических картах были отмечены 12 озёр, а остальных озёра можно считать «новыми», так как основная часть этих озёр появилась после 2000 годов на моренах и языках ледников.

Кроме вышперечисленных озёр, ещё много маленьких озёр появилось на моренах и на ледниках этого бассейна. Так как они являются сезонными, здесь мы их не перечислили. Но мы привели данные некоторых из них, которые находятся на леднике и моренах.

Ширина р. Обихингоу у устья более 600 м (расстояние между двумя берегами) и высота здесь 1150. м абс. Средняя скорость реки на этом участке 3,5 м/с (по карте).

Высотное расположение озёр в этом бассейне очень большое, они находятся на высотах от 1408 (Кули Кабуд) до 4290 м. абс. (б/н-37), который находится на хребте. Как видно из диаграммы (рисунок 2.27.), основная масса озёр расположены на высотах от 3000 до 4000 м. абс.

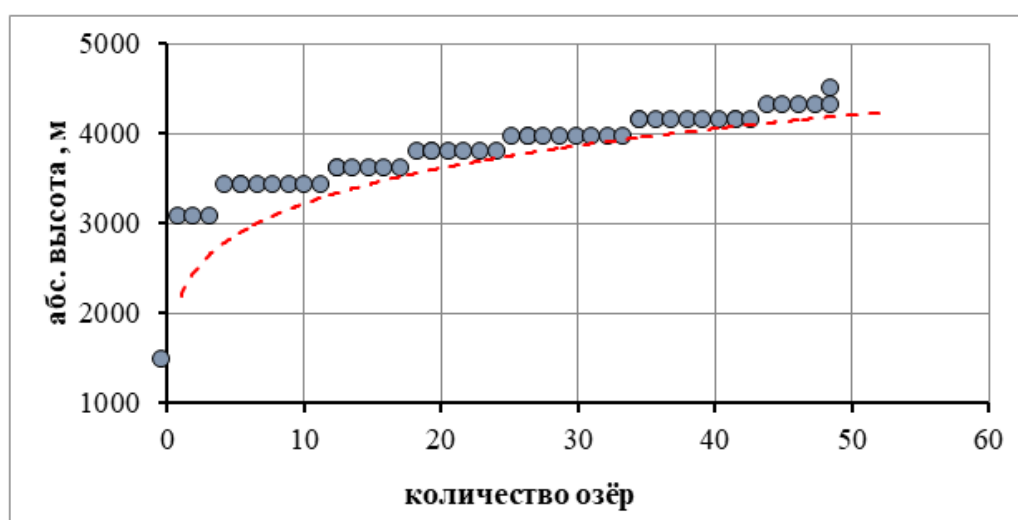


Рисунок 2.27. - Распределение озёр по высотам в бассейне р. Обихингоу (рисунок разработана автором)

Местами по всей длине русла реки можно наблюдать нестабильную устойчивость берегов, так как с обоих берегов очень много селевых наносов сливаются в реку и иногда перегораживают русло реки. Ниже приведём некоторые данные о таких местах: западнее от с. Пасигузун с левого берега в р. Обихингоу сливается река, которую местные жители называют р. Пасигузун. До 2012 года устье этой реки при слиянии было повернуто налево. Между реками Обихингоу и Пасигузун на расстоянии 160 м от устья образовался перешеек толщиной 80 м. После 2012 года постепенно этот перешеек смылся обоим рекам, образуя островок. Теперь эта речка сливается с р. Обихингоу, меняя направление налево и направо.

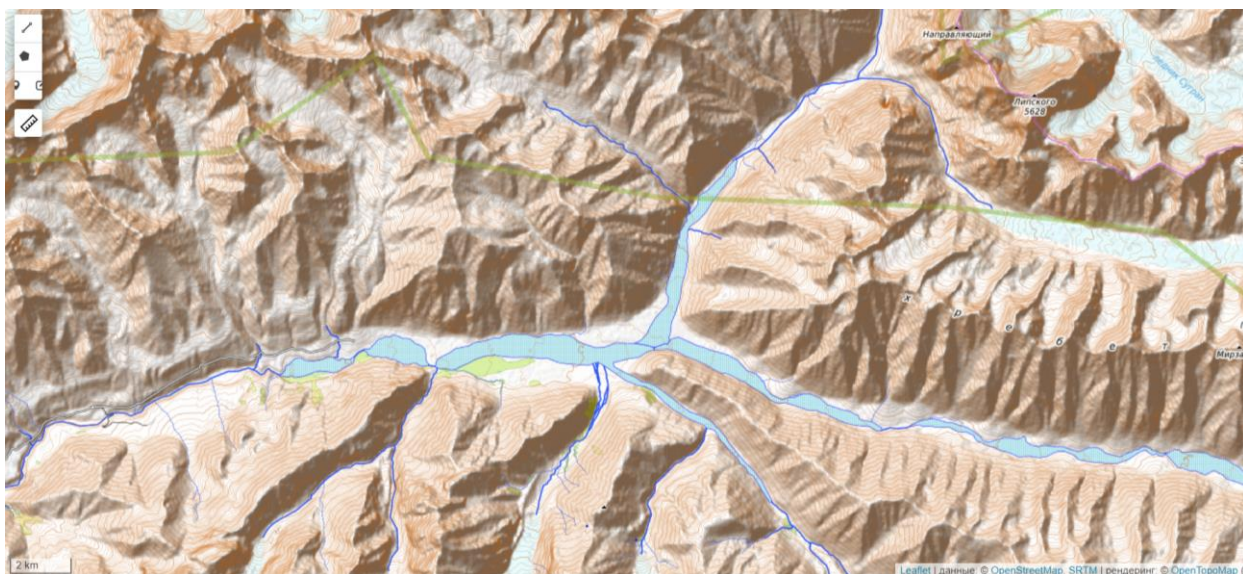
Также следы древних отложений можно наблюдать в обоих руслах р. Обихингоу при селах Хафтчарог и Разаки Дарун, в 29 км от устья реки. Площадь конуса выноса от р. Даштиказы которая стекает с левого борта -



около 0,42 км<sup>2</sup>, а конус с противоположной реки 0,43 км<sup>2</sup>. Такое изменение русел рек на этой территории, как видно, происходило не один раз.

Такие отложения можно встретить по всей долине р. Обихингоу и её притокам. Летом 2015 года выше с. Сангвор селевой поток с левого берега перекрыл русло р. Обихингоу. В результате образовалось озеро, и затем оно переполнилось наносами. Высота переполненной чаши за перекрытием была почти 10-12 метров. Наносы затопили всю пойму с обоих берегов. Летом 2020 года, когда мы побывали там, река постепенно смывала отложения, и ветви деревьев Туркестанской берёзки, которые ранее были затоплены, постепенно обнажались.

У истоков р. Обихингоу русло реки намного шире, чем в низовьях (рисунок 2.28.).



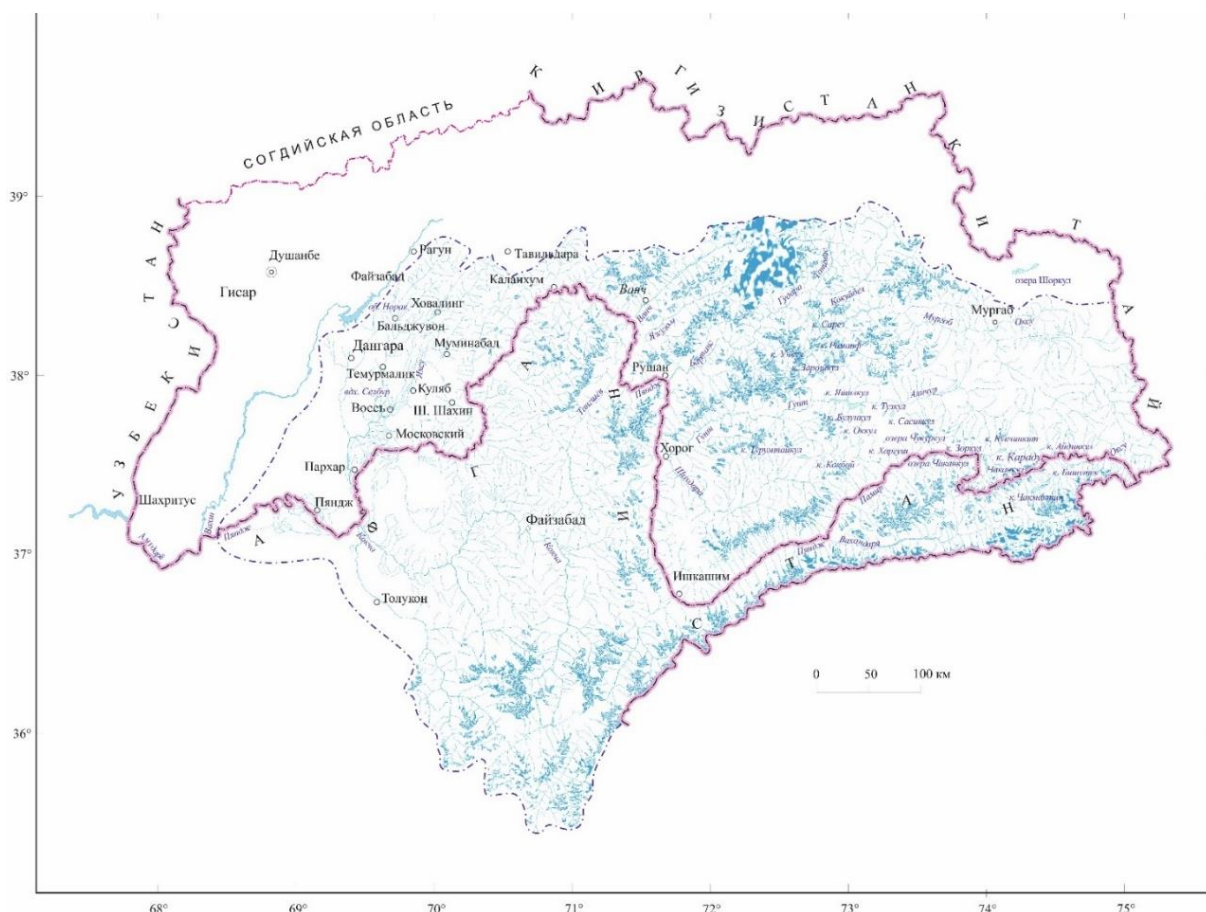
**Рисунок 2.28. - Бассейн р. Обихингоу (исток)**  
(рисунок разработана автором на основе снимков Гугл)

Геолого-геоморфологические особенности бассейна р. Обихингоу подробно опубликованы в других работах [81].

Р. Пяндж является одним из основных притоков р. Амударьи. Р. Пяндж образуется при слиянии рек Памира и Вахандарьи, и в устье, сливаясь с р. Вахш, образует р. Амударью. Её водосбор, как и водосбор р. Вахш, расположен в наиболее возвышенном районе СА и охватывает почти всю

территорию Памира. Средняя высота долин в бассейне р. Пяндж находится в пределах 3800 м абс.

Обычно принято считать истоком р. Пяндж слияние р. Вахан и Памир. Иногда истоком р. Пяндж считают р. Вахандарью и в большинстве случаев общую длину р. Пяндж считают с р. Вахандарьей - 1137 км. Длина р. Пяндж, где сливаются реки Памир и Вахандарья, до её устья (слияние с рекой Вахш) равна 921 км, со средним уклоном продольного профиля 2,9 м/км. Общая водосборная территория р. Пяндж – 113500 км<sup>2</sup> [40]. Из общей площади бассейна р. Пяндж, 60917 км<sup>2</sup> приходится на правый берег, то есть на территорию Республики Таджикистан, а остальная площадь бассейна р. Пяндж располагается на территории ИРА (рисунок 2.29).



**Рисунок 2.29. - Водосборный бассейн р. Пяндж**  
(рисунок разработана автором)



Ниже слияния р. Памир с р. Вахандарья, р. Пяндж принимает 154 постоянных притока первого порядка и несколько десятков сезонных притоков с правого берега. Самыми большими среди них можно назвать реки Гунт, Бартанг, Язгулем, Ванч, Кызылсу и др. Самым крупным из притоков правого берега является р. Бартанг, как по площади бассейна (24700 км<sup>2</sup>) и длине (558 км), так и по абсолютной водности (129 м<sup>3</sup>/сек.). С другой стороны, р. Бартанг можно считать истоком р. Пяндж. Так как после ответвления (бифуркации) от р. Биргутайи-Джилгачелов (ИРА) ответвлённая речка - р. Бартанг - считается притоком третьего порядка. А с левого берега р. Пяндж принимает 155 постоянных притоков и, также как на правом берегу, несколько десятков сезонных притоков. Самым крупным притоком левого берега р. Пяндж является р. Кокча.

На севере и востоке водосбор р. Пяндж отделён от других бассейнов хребтами Дарвазским, Академии Наук, Музкол, Сариколь и озером Каракуль. Высота этих хребтов тоже значительна и отметки высот тоже превышают более 5000 м. абс.

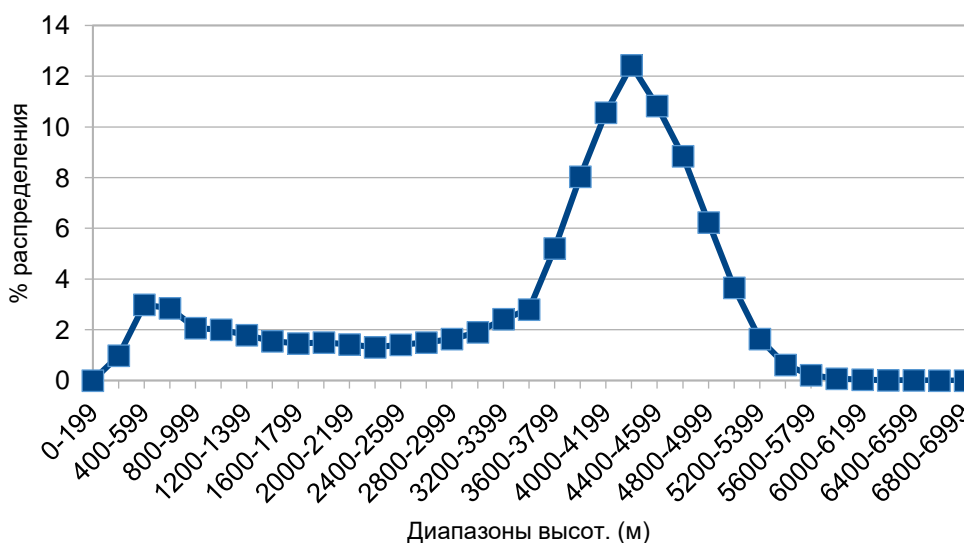
От истока до с. Ишкашим долина сильно суживается и местами переходит в ущелье, в которое вмещается только одно русло быстро текущей реки.

Долина р. Пяндж вблизи устья р. Бартанг на протяжении нескольких километров расширяется. По берегам распространены выносы боковых притоков. Здесь русло неустойчивое, извилистое и разветвлённое.

Р. Пяндж имеет местами одностороннюю пойму, которая развита слабо. Пойма реки затопляется в многоводные половодья. Ниже острова Даркад до истока р. Амударьи русло р. Пяндж умеренно извилистое, разветвлённое, за исключением участка от пристани Файзабадкала до поста Кызылкала, где берега подвержены размыву.

Используя новейшую технологию ArgGIS, мы проводили измерения высотного распределения рельефа бассейна р. Пяндж. На рисунке 2.30. в

процентном соотношении приводим диаграмму распределения высотных отметок в этом бассейне.



**Рисунок 2.30. - Распределение высот бассейна р. Пяндж (в процентах)**  
(рисунок разработана автором)

По измерениям, проведённым с помощью программы ArgGIS, площадь бассейна с высотными отметками от 300 до 7495 м. абс., составляла 65783,52 км<sup>2</sup> (территория Таджикистана). Общая площадь бассейна р. Пяндж на территориях Республики Таджикистан и ИРА 114000 км<sup>2</sup>. Большую часть территории бассейна охватывают горы высотой от 4000 до 5000 м. абс., что составляет почти 50% бассейна. Самую меньшую часть бассейна, около 0,05%, охватывают горы с высотой более 6000 м. абс.

Выше с. Чубек, где водосборная площадь составляет 80859 км<sup>2</sup>, средняя взвешенная высота водосбора в пределах 4046 м. 11,5% площади этого водосбора занимают высоты, превышающие 5000 м, а высоты, превышающие 4000 м – составляют 56,1%. Всего в этом бассейне 9,3% занимают высоты ниже 3000 м, средняя высота всего бассейна р. Пяндж составляет 3631 м.

Ниже в таблице 2.5 приведём распределение высот в бассейне р. Пяндж в процентном и в площадном соотношении.

Среднегодовой расход близ устья у р. Пяндж оценён в 1000-1050 м<sup>3</sup>/сек, раз в 100 лет среднегодовые расходы достигают 1500 м<sup>3</sup>/сек, и падают почти до 800 м<sup>3</sup>/сек [104].

Общая протяжённость государственной границы Таджикистана с Афганистаном составляет 1356 км. Из этого расстояния всего 183,5 км проходит по суше. Остальная часть южной границы проходит по руслам рек. Общая протяжённость границ, проходящих по руслам рек на южных рубежах, равна 1079 км, и это расстояние распределяется между реками таким образом; по р. Амударья – 81,1 км, по р. Пяндж – 857 км, по р. Памир – 117 км, по озеру Зоркуль – 20 км и р. Андымин – 4 км.

Таблица 2.5. - Распределение площадей бассейна р. Пяндж на территории РТ

Высотные отметки, м абс.	В процентах, %	В квадратных километрах
200-1000	8,9	5848,2
1000-2000	8,31	5469,5
2000-3000	7,28	4789
3000-4000	20,36	13395,5
4000-5000	48,9	32171,1
5000-6000	6,2	4078,1
6000-7000	0,05	31,54
Всего	100	65782,94

От устья р. Дилехдара почти до самого (с. Чубек) района М.С. Хамадони р. Пяндж протекает по глубоко врезанной долине, русло слабоизвилистое и разветвлений почти не наблюдается. В районе с. Чубек, 246 км выше от своего устья, р. Пяндж выходит из гор в широкую долину и образует остров Даркад (Уртатугай).

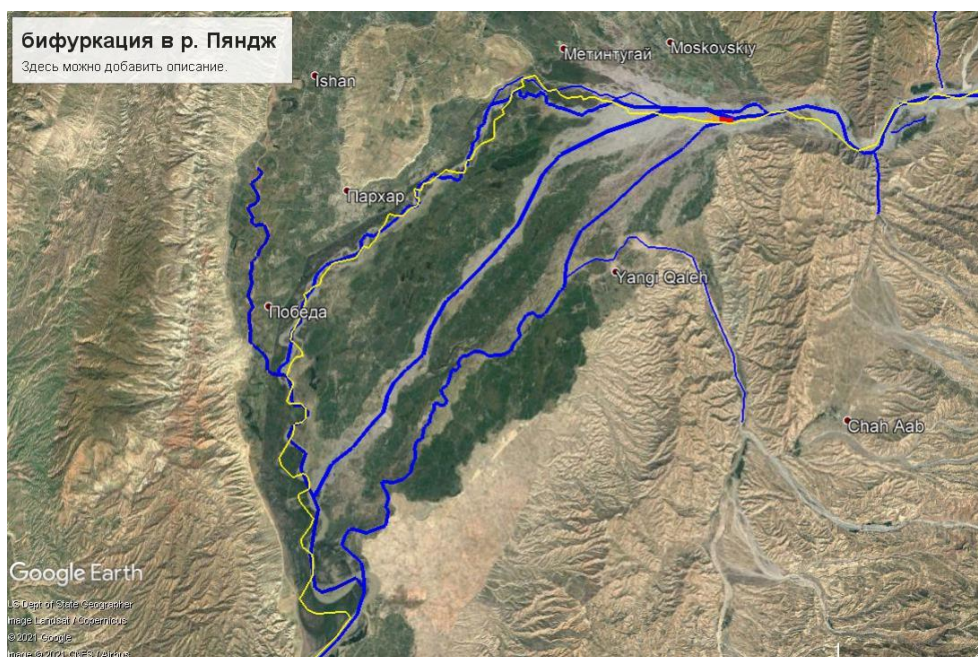
Р. Пяндж выходит из узкой долины устья р. Джумар (10 км восточнее Чубек), ширина с поймами которой на этом участке более 500 м. С этого места начинается неустойчивое поведение русла р. Пяндж. От слияния с р. Джумар до с. Чубек русло р. Пяндж частично разветвлённое. Юго-восточнее Дахана (Таджикистан), расположенного на правом берегу от р. Пяндж на

высоте 550 м абс., ответвляется р. Каросу. На этом отрезке, где ширина поймы составляет более 1,7 км, р. Пяндж течёт со средней скоростью 4,2 м/с. Западнее этого участка река постепенно расширяется, разветвляясь на многочисленные рукава. На этой территории основная масса протоков течёт по территории ИРА.

Выше с. Чубек, где водосборная площадь р. Пяндж составляет 80859 км<sup>2</sup>, средняя взвешенная высота водосбора в пределах 4046 м абс.

Ниже с. Чубек р. Пяндж разделяется на несколько рукавов, среди которых крайним образовался островок, называемое Даркад (Уртатугай). Также посреди этого острова протекают десятки протоков р. Пяндж.

На рисунке 2.31. приводится состояние русла р. Пяндж и рельефа местности у её берегов, на территории острова Даркад.



**Рисунок 2.31. - Протоки р. Пяндж на острове Даркад**  
(рисунок разработана автором на основе снимков Гугл)

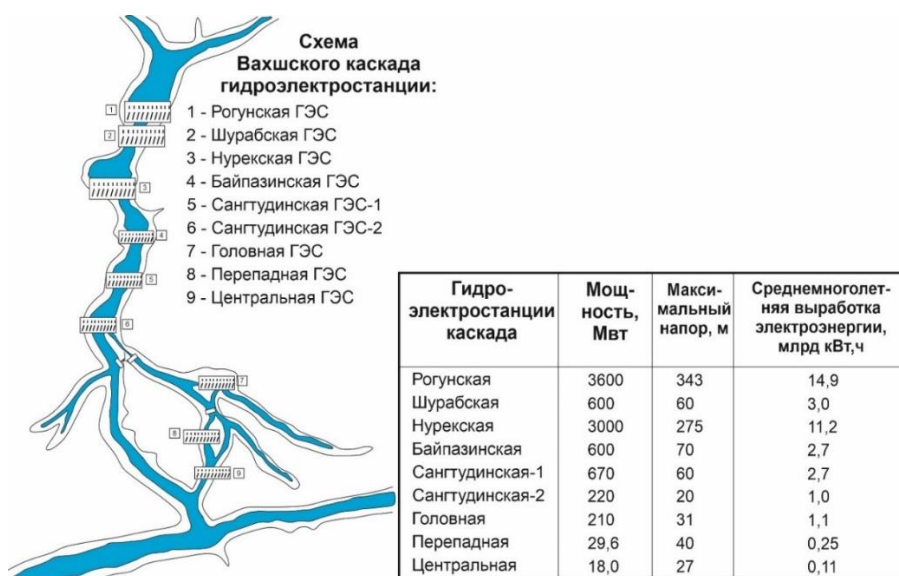
На поверхности аллювиальных равнин пойм рек Пянджа и Зеравшана сформировалась сложная сеть пойменных протоков. Эти реки в равнинной части имеют довольно динамично свободно блуждающее русла, заполненные галечными островами и осередками.

Особым отличием характера русловых деформаций р. Зеравшан от р. Пяндж является тот факт, что первая носит периодический знакопеременный

характер. Острова и осередки в русле р. Зеравшан периодически сменяются, так как долина этой реки намного шире на территории Пенджикентского района. В низовьях р. Пяндж протекает по равнине, и постепенно осередки превращаются в острова и русло реки, меандрируя, меняет направление.

Неотектонические движения земной коры оказывают заметное влияние на современную гидрографическую сеть. Наиболее это заметно в горных районах, где процессы горообразования ещё не закончились. Так во время землетрясения 1911 года вследствие завала в долине Мургаб образовалось большое высокогорное озеро Сарез. Аналогичный завал произошёл в 1964 г. в долине р. Зеравшан, у устья р. Фандарьи. При таких землетрясениях иногда существенно деформируются русла близлежащих к эпицентру рек.

Также наблюдается существенное изменение гидрографической сети, вызванное хозяйственной деятельностью человека (антропогенными факторами). Данные значительные антропогенные изменения за последние 50 лет можно наблюдать в гидрографической сети долины р. Вахш (каскад ГЭС) – рисунок 2.32. Также намечается строительство ряда ГЭС в долине р. Зеравшан, что приведёт к значимым изменениям гидрографической сети этой долины.



**Рисунок 2.32. - Каскад ГЭС, расположенных в бассейне р. Вахш**

(источник: фонды МЭ и ВР РТ)

Подсчитано, что при условии завершения строительства создающихся и проектируемых водохранилищ обзорность водосборных бассейнов увеличится по сравнению с прежней в 2-3 раза и будет достигать 1,5-2% в нижней и юго-западной частях Таджикистана.

Как мы видим, гидрографические рисунки рек могут измениться по ряду причин, основными из которых являются естественные и антропогенные.

Весь спектр хозяйственных мероприятий и хозяйственной деятельности, которые могут оказать влияние на водные режимы и речные стоки, подразделяется на две основные группы. В первую группу включены виды хозяйственной деятельности и хозяйственных мероприятий, непосредственно не связанные с преобразованием водных режимов рек и заборами из рек воды. Данные мероприятия оказывают косвенное влияние на водные стоки рек - они изменяют в речных бассейнах водный баланс и его элементы, в основном через испарение воды, а также за счёт изменения условий стекания по склонам дождевых и талых вод, что оказывает косвенное воздействие на преобразование поверхностей речных бассейнов.

К данным мероприятиям необходимо отнести такую деятельность человека, как урбанизация территории, агротехнические мероприятия, осушение болот и заболоченных земель, вырубка леса или его восстановление.

Во вторую группу включены виды хозяйственной деятельности человека, связанные с регулированием самих речных стоков, их территориальным перераспределением, изъятием из хозяйственной деятельности, сюда можно отнести следующие мероприятия: регулирование водных стоков с помощью водохранилищ, «переброска вод» из одних водных бассейнов в другие водные бассейны, коммунальное или промышленное водоснабжение, использование речных вод для орошаемого земледелия и т.д. Проведение данных водохозяйственных мероприятий может вызывать

изменения, как величин водных стоков, так и их распределение в течение года и в многолетний период [42].

Существует нормативно-технические документации для безопасного строительства гидротехнических сооружений и водохранилищ [21], и ведомственные строительные нормы учёта деформации речных русел [18].

Другая причина изменения гидрографического рисунка рек – это селевые явления, которые наиболее часто встречаются на территории Таджикистана. Основными причинами русловых деформаций в долинах и ущельях являются эти природные явления.

Следующей естественной причиной изменения рисунка рек считается прорыв ледниковых и моренных озёр. При прорыве таких озёр значительно меняются очертания русел рек (ледн. Медвежий).

Хотя на очень узком расстоянии, но значительно могут влиять на русловый режим рек оползни (пример: оз. Сарез и Талоки Марзич на р. Ягноб).

В исследованном регионе имеют место следующие виды непосредственного (1) и косвенного (2) антропогенного воздействия на русла: 1) разработка гравийно-галечных карьеров в руслах и на поймах рек (Зеравшан); строительство мостовых переходов (Зеравшан, Обихингоу); берегоукрепление (Зеравшан, низовьях Пянджа); 2) строительство зон отдыха (Зеравшан); выпас скота (Зеравшан, Обихингоу); террасирование и сельскохозяйственное использование прибрежных склонов (Зеравшан, Обихингоу, низовье р. Пяндж); водозаборы (Зеравшан, низовье р. Пяндж).

В бассейнах перечисленных рек действующих водохранилищ пока не существует, но в стволе р. Зеравшан намечается строительство ряда ГЭС с водохранилищами, что может стать причиной существенного изменения гидрографического рисунка бассейна.

## Выводы по второй главе

1. Часть из выявленных бифуркаций мы отнесли к сезонным явлениям, так как 11 из 12 выявленных бифуркаций расположены на высотах более 3000 м. абс., и большинство из них находятся у языков ледников. На таких высотах реки быстро замерзают, и по этой причине протекание воды в русла этих рек прекращается.

2. Вычисленные высотные распределения рельефа бассейнов рек Пянджа (на территории РТ), Зеравшана и Обихингоба, показали, что у р. Зеравшан наибольшее распределение высот (от 8-9%) приходится на высоты 3000-3600 м. абс., у р. Обихингоу наибольшее распределение высот (от 7-8%) приходится на высоты 3400-4000 м. абс., и у р. Пяндж наибольшее распределение высот (до 12%) приходится на высоты 4400-4600 м. абс.

3. Разветвление р Пяндж на участке острова Даркад в результате природных и антропогенных воздействий на русла реки претерпела существенные за последние 2-3 десятилетия. Эти изменения русла могут нанести вред народному хозяйству Таджикистана и может коснуться в его государственной границе, поскольку ее линия проходит по фарватеру рек.

4. На основании наших изысканий предложена считать истоком р. Пяндж не реки Памир и Вахандарья р. Бургутаи-Джилгаджелав которая является истоками рек Вахандаря и Бартанг.



### ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВЕТВЛЕНИЕ РЕКИ

При решении многих гидрологических задач успешно применяются методы математического моделирования.

Физико-математические гидрологические модели опираются, в наибольшей возможной степени, на теоретическую информацию: современные представления о гидрологических процессах, базовые уравнения массо и энергопереноса в различных средах, достижения математической физики и вычислительной математики. Значения большинства параметров физико-математических моделей могут быть либо заданы из физических соображений, либо найдены с помощью эмпирических установленных зависимостей от измеряемых характеристик рельефа, почв, растительных и др.

Исследование предоставляет полезную информацию для понимания природы стока в открытом русле и помогает при инженерном проектировании разветвления реки. Математическая модель построена на основе уравнения неразрывности, принципа импульса (количество движения) и некоторых алгебраических манипуляций для прогнозирования раздвоенного речного стока с разными углами бифуркации. Уравнение модели состоит из числа Фруда и различных важных параметров, таких, как углы бифуркации, ширина каналов, глубина потоков и расход в рукавах реки. Таким образом, его можно будет применять для других рек с другими геометрическими свойствами. Анализ результатов показывает, что расход реки после разветвлённого соединения является ниже критического, если учитывать соответствующие углы бифуркации.

В будущем математическая модель разветвления реки с разными углами разветвления может быть верифицирована, когда будет понятна проблема, касающаяся области рециркуляции. Другими интересными особенностями, которые можно наблюдать, являются гидравлические прыжки и неоднородность поверхности. Кроме того, на расходы воды при

разветвлении реки влияют другие второстепенные факторы, такие, как трение стенок и внешние силы, которые следует также учитывать.

В данной главе исследуется расход реки на примере двух рукавов раздвоенной реки. Математическая модель в литературных источниках [114, 115] сформулирована на основе принципа импульса и непрерывности массы, учитывает расход реки при различных углах бифуркации. Рассматриваются гидравлические переменные, геометрические свойства реки с трапециевидным (сегментовидным) поперечным сечением и другие физические характеристики раздвоенной реки, которые можно предположить заранее для практического применения.

### **3.1. Математическое обеспечение и сопровождение процесса моделирования**

Развитие методов математического моделирования в гидрологии речных бассейнов имеет более чем полуторавековую историю. Если считать отсчёт с публикации ирландским инженером Томасом Молвани (1851) идеи «рационального метода», обосновывающего существование линейного зависимости максимального расхода речного стока от средней по площади водосбора интенсивности эффективных осадков, усредненной за время бассейнового добега.

Существует несколько общепринятых классификаций, которые упорядочивают множество моделей и разделяют их на классы в зависимости от учёта и соотношения в структуре и параметрах моделей того или иного вида информации: детерминистические, стохастические и динамико-стохастические модели, эмпирические («чёрный ящик»), концептуальные и физико-математические модели, модели с сосредоточенными, полураспределёнными и распределёнными параметрами, точечные, региональные и глобальные модели.

Ещё более многочисленны виды практических задач, для решения которых используется гидрологические модели.

Реализация крупных проектов и строительство объектов на пойменных участках в большинстве случаев негативно влияет на гидрологический режим рек. Повышаются отметки максимальных уровней воды при половодьях и паводках, ускоряются процессы размыва берегов. В связи с этим достоверные количественные оценки влияния строительства на гидрологические процессы в руслах и поймах рек важны для научного обоснования предлагаемых проектных решений.

Математическая модель позволяет исследовать объекты, реальные эксперименты над которыми затруднены или невозможны. При этом затраты для данного объекта сокращаются в сотни и тысячи раз.

Моделирование – это не просто полноценное исследование, но и процесс конструирования какой-то конкретной модели, ее реализации на объектах, т.е. модель — это отображение реальности.

Математическая модель является приближённым описанием природных процессов и явлений которое выражается при помощи математических формул и символов. Оно является способом обследования объектов, природных явлений и различных процессов.

Математическое моделирование способен решать многие традиционные и новые задачи гидрологии, такие как; процесс формирования стока, получение гидрографов стока с неизученных бассейнов, оценки изменения стока под влиянием изменения ландшафта и климата, долгосрочный прогноз при разных фазах стока и т.д. Также оно позволяет получать во всех перечисленных ситуациях информацию об элементах баланса воды (сток, испарение, осадки) и о переменном состоянии бассейнов (запасов воды, температуры, влажность почвы, уровня грунтовых вод).

Математическое моделирование русловых процессов проводится с целью:

- проектирование и строительство объектов противопаводковой инженерной защиты населённых пунктов;
- поддержка принятия решений по предотвращению чрезвычайных ситуаций, связанных с затоплениями прибрежных зон;
- оценка экономического ущерба от негативных гидрологических явлений на участках подверженных риску затопления;
- формирование планов развития новых территорий, включая нижние бьефы водохранилищ, поймы рек и других участков речных долин;
- научно-методическое обеспечение полевых гидрологических и экологических исследований.

Практическая значимость и актуальность заключается в возрастании требований к точности оценки экологического и экономического ущерба от участвовавших наводнений, имеющих масштабный и катастрофический характер, делает недостаточным определение лишь таких параметров, как максимальные расходы воды или уровня воды. В связи с этим растёт необходимость воспроизводить с помощью современных моделей условия формирования экстраординарных паводков, характеристики водного режима рек в период их прохождения. Это создаёт информационную основу для поддержки решений о выборе или повышении надёжности комплекса структурных мероприятий: строительство дамб, изменения морфометрии русел рек, строительство водохранилищ и др. этот подход необходим для обеспечения безопасности населения, производственных и социальных объектов и у управления рисками при территориальном и планировании.

Многие опасные гидрологические процессы, вызванные как природными, так и антропогенными факторами, не всегда связаны с крупными наводнениями и могут проявляться на локальном уровне. При этом они также влекут неблагоприятные последствия для населения и экономики, создают проблемы для хозяйствующих субъектов. Среди таких последствий следует выделить разрушение грунтовых плотин и дамб; размыв береговых откосов, dna речного русла в нижних бьефах гидроузлов, вокруг

опор мостовых переходов и магистральных трубопроводов; понижения базиса русловой эрозии; заиление водохранилищ. Их предупреждение или минимизация воздействия требует выполнения детальных исследований механизмов нарушения гидроэкологической безопасности водопользования.

Предлагаемый нами подход математического моделирования соответствует частичному решению вышеуказанных проблем.

С целью предотвращения деформации берегов р. Пяндж были предложены несколько математических моделей. Но среди них модель предписывающая контроль и количество расхода воды в разветвленных протоках не встречается.

Бифуркации русла в реках, разветвленных из гравийного русла, почти всегда асимметричны: сбросы воды и наносов в ответвлениях вниз по течению обычно не сбалансированы а канал, несущий больший разряд, вообще говоря, шире и глубже.

Существует несколько подходов к исследованию разветвления реки или раздвоенного течения в открытом русле. Использовались, как аналитические, так и экспериментальные способы изучения раздвоенного потока в открытом канале [117]. Используемые каналы имеют прямоугольное поперечное сечение, а ответвлённый канал расположен под прямым углом на полпути вдоль прямого основного канала. Оценка коэффициента расхода с точки зрения числа Фруда и коэффициента глубины была получена с использованием теоретической модели в [123].

Основываясь на экспериментальных наблюдениях, в работе [113] было проведено исследование зависимости глубины разряда и коэффициента потерь энергии для докритического, равной ширины, прямоугольного деления подкритического потока над горизонтальным слоем в узком канале с соотношением сторон. Теоретическая модель докритических течений при разделении открытого сочленения каналов выведена в [124] с помощью сохранения общей массы вместе с принципом импульса в продольном направлении к двум контрольным объёмам через стык. Кроме того, в работах

[121] построена физическая модель с особенностями меандрирования для исследования влияния углов отвода на распределение потока при разветвлении вогнутого канала.

Теоретическая модель для прогнозирования глубины воды с определёнными углами раздела была предложена в [122]. Авторы разработали уравнения модели, как для объединения, так и для разделения типов докритических течений на стыках каналов, используя принцип баланса импульса. Ширина всех каналов, как при объединении, так и при разделении сохранена по-разному.

Также были созданы нестационарная математическая модель для прогнозирования деления потока на стыке прямоугольного открытого канала и гидродинамическая модель [128, 131] для бифуркационного потока.

Совсем недавно были проанализированы результаты почти 10-летних исследований по моделированию бифуркационных систем с помощью многочисленных методов моделирования [120].

Однако ни одна из вышеперечисленных работ не анализирует влияние различных углов бифуркации на расход реки. Большинство существующих моделей рассчитаны для каналов, разделяющихся под прямым углом. Поэтому нашей целью является исследование поведения речного стока под влиянием различных углов бифуркации с использованием математической модели.

Метод моделирования заключается в подробном описании канала и формулировке модели.

Здесь мы использовали модель, разработанную сотрудниками Института информатики и вычислений в энергетике Национального университета г. Тенага (Малайзия) и факультета компьютерных и математических наук Технологического университета МАРА Негери (г. Сембилан, Малайзия) [114]. При этом мы ввели некие поправки при вычислении моделирования.

Основной канал связан с двумя ответвленными каналами. Углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  в разветвленном стыке называются углами бифуркации. Для применения закона сохранения импульса мы рассматриваем границы контрольного объёма, показанные пунктирной линией.

Если расход неизвестен, равномерная скорость  $v$ , которая применяется ко всему поперечному сечению, определяется на основании уравнения Маннинга [118].

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I^{1/2}$$

где:  $v$  – средняя скорость (м/с);  $n$  – коэффициент шероховатости;

$R_h$  – гидравлический радиус (м);  $I$  – гидравлический уклон (м/м).

В нашем случае скорость течения известна.

Условия передачи импульса от основного канала к ответвленным каналам задаются в формах, приведённых в [115].

Формы поперечных сечений при процессе проектирования каналов выбираются на основании размеров каналов, типов грунтов, назначения. В основном, за основу принимается форма поперечного сечения трапецеидальная, иногда, но реже параболическая, треугольная, прямоугольная. При проектировании и моделировании каналов следует выбирать гидравлические параметры, которые в дальнейшем будут использованы.

Прежде чем приступить к моделированию, сначала рассмотрим уравнение, характеризующее равномерное движение потока в открытом русле.

Для жидкости её равномерное движение можно охарактеризовать такими основными признаками, как:

1. Расход воды является постоянным,  $Q = \text{const}$ .
2. Русло призматической формы.

3. Глубина ( $h$ ) также является постоянной, то есть  $h = \text{const}$ , соответственно, форма и площадь живого сечения ( $\omega$ ,  $\chi$ ,  $R$ ) также являются постоянными величинами.

4. Не изменяется шероховатость смоченной по длине поверхности.

5. Местные сопротивления отсутствуют.

6. Уклон дна ( $i$ ) больше 0.

7. Величины уклона дна, гидравлического и пьезометрического являются равными, соответственно,  $i = I_p = I$ .

Чтобы вывести уравнение равномерного движения, необходимо выделить сечениями I-I и II-II в движущемся потоке элемент жидкости, имеющий длину ( $\ell$ ). Далее для этих сечений записываем уравнение Бернулли относительно плоскости.

$$z_1 = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h. \quad (3.1)$$

Из уравнения Бернулли (3.1) получим условия равномерного движения:

$$z_1 - z_2 = h_w. \quad (3.2)$$

в котором значение  $h_w$  – является потерями напора.

Соответственно,  $\frac{(z_1 - z_2)}{\ell} = \sin \alpha$ , для малых уклонов значение  $\sin \alpha = \text{tg} \alpha = i$ , то есть  $z_1 - z_2 = i\ell$ , соответственно:

$$h_w = i\ell. \quad (3.3)$$

Как видно из уравнения (3.3), характер течения находится в зависимости от величины ( $i$ ) - уклона дна канала.

Далее уравнения (3.2) и (3.3) преобразуем с получением следующего уравнения:

$$h_w = i\ell = \lambda \frac{\ell}{4R} \frac{v^2}{2g}, \quad (i = I_p = I)$$

Откуда, скорость ( $v$ ) течения воды определяется таким образом

$$v = \sqrt{\frac{8g}{\lambda} Ri}. \quad (3.4)$$



где  $v$  – скорость течения,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\lambda$  – коэффициент потерь на трение,  $R$  – гидравлический радиус и  $i$  – уклона дна канала.

$$\text{Затем вводим обозначение: } C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}},$$

- в данном случае представляет собой коэффициент Шези (согласно формуле Шези можно вычислить среднюю скорость потока при турбулентном равномерном установившемся движении воды в области квадратичного сопротивления для случая безнапорного потока. Опубликовано французским инженером-гидравликом А. Шези в 1769 году). При введении значения  $C$  в уравнение (3.4), получаем формулу Шези следующего вида:

$$v = C\sqrt{Ri}. \quad (3.5)$$

Затем определяем расход воды при условии равномерного движения жидкости по выражению:

$$Q = \omega C\sqrt{Ri}. \quad (3.6)$$

Здесь рассматривается открытый канал. Открытый канал или открытое русло – это потоки, которые имеют свободные поверхности, на которые оказывает влияние атмосферное давление. К данным потокам принято относить реки, искусственные каналы, ручьи, лесосплавные гидравлические лотки, быстротоки, также к открытым потокам отнесены ряд закрытых трубопроводов, сточных желобов, туннелей, в которых жидкость течёт, заполняя сечение трубопровода частично.

В открытых потоках движение жидкости выделяют двух типов - установившееся и неустановившееся.

Рассмотрим эти два типа движения по отдельности.

Установившееся движение - имеет следующие основные параметры потока: скорость движения ( $v$ ) и давление ( $P$ ), которые находятся в зависимости от положения рассматриваемых частиц жидкости в потоке, при этом данные величины не зависят от времени, то есть:  $v=f(x,y,z)$ ,  $P=f(x,y,z)$ . В

случае неустановившегося движения на данные величины оказывает влияние и время, а уравнения принимают вид:  $v=f(x,y,z,t)$ ,  $P=f(x,y,z,t)$ .

В качестве неустановившегося движения жидкости можно привести следующие примеры: движение волн, цунами, движение паводковых вод.

В модели, рассматриваемой нами в рамках диссертационного исследования, мы будем рассматривать только установившееся движение, которое, как известно, подразделяется на два вида движения - равномерное и неравномерное.

Рассмотрим равномерное движение потока – оно происходит в русле, которое имеет постоянную форму поперечного сечения ( $\omega=\text{const}$ ), а также постоянную среднюю скорость движения жидкости, то есть  $v=\text{const}$ .

В случае, когда глубина потока является по длине переменной ( $h\neq\text{const}$ ), движение является неравномерным.

Поток жидкости характеризуют такие основные элементы, как: расход жидкости, средняя скорость потока, гидравлический радиус, смоченный периметр, площадь живого сечения.

В частности, живое сечение – это сечение потока жидкости, которое проводится перпендикулярно линиям потока, где линия потока – это линия, проведённые к которой касательные линии из любой точки, являются совпадающими с направлениями векторов скорости частиц в определённый участок времени.

Под определением смоченный периметр понимается определённая часть периметра живого сечения потока, где жидкость соприкасается со стенками трубы или канала, обозначается ( $P_w$ ), в метрах.

Гидравлическим радиусом называют характеристику живого сечения, которая представляет собой отношение площади живого сечения к смоченному периметру.

Нами использованы уравнения модели по величинам раздвоенного расхода реки с разными углами бифуркации, что приводит к оптимальным решениям.

При определённых углах бифуркации расходы реки после разветвлённого сочленения, то есть бифуркации, всегда оказывались меньше критического расхода.

Результаты моделирования показывают, что прямоугольное разветвление реки является более предпочтительным для смягчения последствий различных опасных геодинамических процессов, таких, как наводнения и др.

Разветвление реки – это процесс, который определяет распределение стока, наносов и загрязняющих веществ вдоль нижних рукавов реки. Этот процесс важен для смягчения последствий наводнений из-за изменения климата. Авторы предоставили экспериментальные данные для обоснованности, предложенной ими модели.

Основываясь на экспериментальных наблюдениях, в работе [114] было проведено исследование зависимости глубины разряда и коэффициента потерь энергии для докритического, равной ширины, прямоугольного деления подкритического потока над горизонтальным слоем в узком канале с соотношением сторон. Теоретическая модель докритических течений при разделении открытого сочленения каналов выведена в [126] с помощью сохранения общей массы вместе с принципом импульса в продольном направлении к двум контрольным объёмам через стык. Кроме того, в работе [121] построена физическая модель с особенностями меандрирования для исследования влияния углов отвода на распределение потока при разветвлении вогнутого канала.

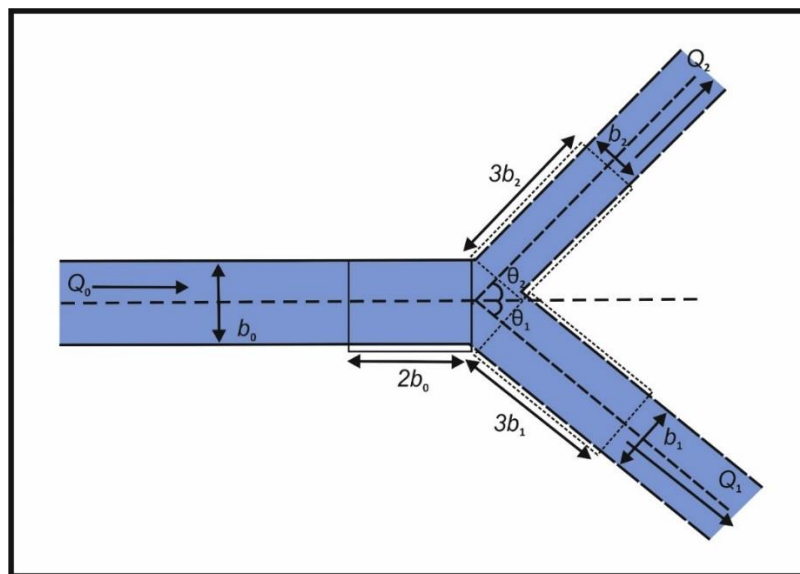
### **3.2. Результаты моделирования разветвления рек**

Теоретическая модель для прогнозирования глубины воды с определёнными углами раздела была предложена в [121]. Авторы разработали уравнения модели, как для объединения, так и для деления типов докритических течений на стыках каналов, используя принцип баланса

импульса. Ширина всех каналов, как при объединении, так и при разделении сохранена по-разному.

Метод моделирования заключается в подробном описании канала и формулировке модели.

Здесь учитываются характеристики разветвлённого открытого канала и его поперечного сечения для уравнения математической модели. Схематическое изображение раздвоенного канала показано на рисунке 3.1.



**Рисунок 3.1. - Схема разветвлённого канала:  $Q$  – расход,  $b$  – ширина дна канала,  $\theta$  – углы бифуркации,  $0$  – основной канал,  $1$  – канал 1,  $2$  – канал 2 (рисунок от [114])**

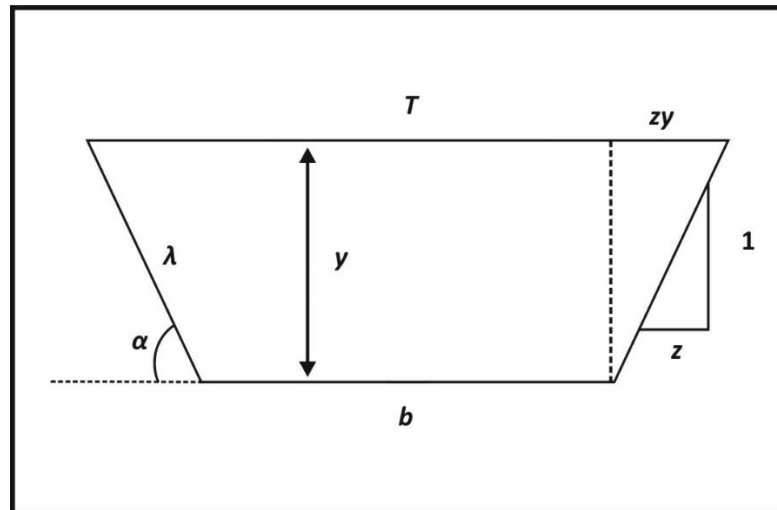
Выбранные каналы имеют одинаковое поперечное сечение. Сечения каналов можно рассматривать, как правильные или неправильные. Правильное сечение – это такое сечение, форма которого не меняется по длине канала, тогда как неправильное сечение будет иметь изменения в своей геометрии. Чаще всего неправильное сечение открытого канала имеет трапецевидную форму. Типичное трапецевидное поперечное сечение показано на рисунке 3.2.

Основной канал связан с двумя ответвлёнными каналами. Углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  в разветвлённом стыке называются углами бифуркации. Для применения закона сохранения импульса мы рассматриваем границы контрольного объёма, показанные пунктирной линией.

Согласно [130], гидравлика потока и обмен импульсом в прямых каналах существенно зависят от геометрических и гидравлических переменных. Площадь поперечного сечения  $A$  равна

$$A = by + zy^2,$$

где  $b$  - ширина дна канала,  $z$ - боковой уклон, а  $y$  - глубина потока.



**Рисунок 3.2. - Геометрические детали типичного трапециевидного поперечного сечения:  $\alpha$  – угол наклона стороны,  $b$ – ширина дна,  $y$  – глубина потока,  $\lambda$  – смоченная длина, измеренная вдоль стороны откоса,  $T$  – ширина сверху,  $z$  – канал бокового откоса (рисунок от [114])**

Дополнительными параметрами для потока в открытом канале являются: смачиваемый периметр ( $P_w$ ), гидравлический радиус ( $R_H$ ) и гидравлическая глубина ( $D$ ). Смачиваемый периметр –

$$P_w = b + 2\lambda,$$

– длина линии контакта между водой и каналом, где смачивается длина ( $\lambda$ ), измеренная вдоль стороны откоса, равна:

$$\lambda = \sqrt{y^2 + (yz)^2}.$$

Гидравлический радиус  $R_H$  – это площадь, разделённая на периметр смачивания, то есть:

$$R_H = A/P_w.$$

Гидравлическая глубина – это площадь, разделённая на ширину верха:

$$D = A/T,$$

где ширина верха

$$T = b + 2zy.$$

Площадь потока – это площадь поперечного сечения потока, взятая перпендикулярно направлению потока.

Схема конструирования. Привлечение основных положений гидромеханики является основой для моделирования русловых процессов.

Одно из основных соотношений гидромеханики – уравнение неразрывности, которое выражается через закон сохранения массы жидкости. Существуют различные формы этого уравнения. Например, в гидравлике данное соотношение используется не только для элементарных жидких струек, но и для потока жидкости в трубе или канале с достаточно большой площадью поперечного сечения, что можно отобразить в таком виде:

$$Q = Av,$$

где:  $A$  – площадь поперечного сечения канала или трубы ( $m^2$ ),

$v$  – скорость потока жидкости в этом сечении ( $m/c$ );

$Q$  – расход жидкости в этом канале ( $m^3/c$ ).

Площадь потока – это площадь поперечного сечения потока, взятая перпендикулярно направлению потока.

Несмотря на то, что площади поперечного сечения основного русла и русла 1 предполагаются одинаковыми, способность канала транспортировать воду может варьироваться из-за углов разветвления. Если расход неизвестен, равномерная скорость  $v$ , которая применяется ко всему поперечному сечению, определяется на основании уравнения Маннинга [118], как показано ниже:

$$v = \frac{1}{n} R_H^{0.66} S^{0.5}$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости,  $S$  – средний уклон канала.

Безразмерное отношение сил инерции к силам гравитации, действующим на поток, представлено числом Фруда [84], величина  $F_r$  определяется, как:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gD}} = \frac{Q}{A\sqrt{g(A/T)}}. \quad (3.7)$$

где,  $g - 9,80665 \text{ м/с}^2$ , ускорение свободного падения.

Число Фруда играет важную роль при анализе потока в открытом канале. Гидравлическое поведение потока в канале существенно меняется в зависимости от того, является ли поток критическим ( $F=1$ ), докритическим ( $F<1$ ) или сверхкритическим ( $F >1$ ).

Разделение расхода в раздвоенном канале может быть определено с помощью принципа импульса и непрерывности массы при следующих условиях:

а) основной канал представляет собой прямой призматический канал, к которому подключены две ветви разветвлённого сочленения. Форма каналов до разветвления и после него имеют трапециевидное сечение;

б) поток, протекая из основного канала, разветвляется на каналы 1 и 2;

в) скорость и отметки высоты воды постоянны по каналам на участках притока и протока;

г) гидростатическое давление равномерно распределено по всему объёму канала;

д) геометрические параметры канала следующие: ширина, глубина, длина и наклон известны;

е) глубина потока одинакова до и после разветвления;

ж) ветер, вертикальное ускорение и сила трения не учитываются.

В гидромеханике обычно используется уравнение неразрывности в дифференциальной форме, которое имеет следующий вид:

$$\text{div}\vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z}.$$

В этом разделе описывается подробная формулировка математической модели, основанной на принципе количества движения и неразрывности массы воды.

Математическая модель основана на принципе сохранения импульса и массы воды. Для модели, представленной на рис. 3.1. справедлива следующие выражение

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 \quad (3.8)$$

где:  $Q_0 = A_0 v_0$ ,  $Q_1 = A_1 v_1$ , и  $Q_2 = A_2 v_2$ .

$Q_1$  и  $Q_2$  являются расходами,  $A_0$ ,  $A_1$  и  $A_2$  представляют собой трапецевидные площади поперечного сечения каналов, а  $v_0$ ,  $v_1$  и  $v_2$  – скорости воды в основном канале, канале 1 и канале 2, соответственно. Гидростатическая сила на площади поперечного сечения  $A$  будет равна:

$$\gamma = \Delta P / A,$$

где:  $\Delta P$  – сила давления,  $A = by + zy^2$  и  $\gamma$  – плотность воды.

Следовательно, общую горизонтальную силу можно определить следующим образом:

$$P = \gamma \int_0^y (by + zy^2) dy = \gamma \left[ \frac{by^2}{2} + \frac{zy^3}{3} \right]_0^y = \gamma \left( \frac{by^2}{2} + \frac{zy^3}{3} \right) \quad (3.9)$$

Применяя уравнение неразрывности (3.8) и принцип количества движения в направлении потока основного канала (теперь применяя принцип импульса), получаем:

$$\begin{aligned} P_0 - P_2 \cos \theta_2 - P_1 \cos \theta_1 - U_2 - U_1 - \Delta P &= \\ &= \frac{\gamma}{g} (Q_2 v_2 \cos \theta_2 + Q_1 v_1 \cos \theta_1 - Q_0 v_0). \end{aligned} \quad (3.10)$$

где  $P_0$ ,  $P_1$  и  $P_2$  - силы давления в каналах.

Условия передачи импульса от основного канала к ответвлённым каналам задаются в следующих формах [115]:

$$U_1 = \rho Q_1 V_0 C \sin \theta_1 \quad \text{и} \quad U_2 = \rho Q_2 V_0 C \sin \theta_2,$$

где

$$C = \frac{5}{6} - \frac{F_0^2}{40} - \frac{k_0}{12q_r} \left( \frac{1+2k_0}{(1+k_0)^2} \right),$$

- постоянная величина, называемая коэффициентом сопротивления (коэффициентом Шези).



Отношение бокового уклона и глубины потока к ширине обозначим посредством  $k_0$ :

$$k_0 = \frac{zy_0}{b_r}$$

Отметим, что

$$\Delta P = \gamma \left( \frac{b_0 y_2^2}{2} + \frac{z y_2^3}{3} \right) - P_2 \cos \theta_2$$

а плотность воды  $\rho$  связана с  $\gamma$  (удельный вес воды) и  $g$  (ускорение свободного падения), которые можно определить, как  $\rho = \gamma/g$ . Подставляя выражение для  $U_1$  и  $U_2$  в правую часть уравнение (3.10) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} & P_0 - P_2 \cos \theta_2 - P_1 \cos \theta_1 - \Delta P = \\ & = \frac{\gamma}{g} [Q_2 V_2 \cos \theta_2 + Q_1 V_1 \cos \theta_1 - Q_0 V_0 + \rho Q_2 V_0 C \sin \theta_2 + \rho Q_1 V_0 C \sin \theta_1]. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Взяв левую часть в (3.11), мы получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} & P_0 - P_2 \cos \theta_2 - P_1 \cos \theta_1 - \Delta P = \gamma \left[ \frac{1}{2} (b_0 y_0^2 - b_0 y_2^2 - b_0 y_1^2 \cos \theta_1) + \right. \\ & \left. + \frac{z}{3} (y_0^3 - y_2^3 - b_0 y_1^3 \cos \theta_1) \right]. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Теперь, принимая правую часть (3.12), если:

$$P_0 = \gamma \left( \frac{b_0 y_0^2}{2} + \frac{z_0 y_0^3}{3} \right), \quad P_1 = \gamma \left( \frac{b_1 y_1^2}{2} + \frac{z_1 y_1^3}{3} \right), \quad P_2 = \gamma \left( \frac{b_2 y_2^2}{2} + \frac{z_2 y_2^3}{3} \right).$$

тогда

$$\begin{aligned} & \gamma \left( \frac{b_0 y_0^2}{2} + \frac{z_0 y_0^3}{3} \right) - \gamma \left( \frac{b_1 y_1^2}{2} + \frac{z_1 y_1^3}{3} \right) \cos \theta_1 - \gamma \left( \frac{b_2 y_2^2}{2} + \frac{z_2 y_2^3}{3} \right) = \\ & = \gamma \left[ \frac{1}{2} (b_0 y_0^2 - b_1 y_1^2 \cos \theta_1 - b_2 y_2^2) + \frac{z}{3} (y_0^3 - y_1^3 \cos \theta_1 - y_2^3) \right]. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Пусть:

$$P_0 = \gamma \left( \frac{b_0}{2} y_0^2 + \frac{z_0}{3} y_0^3 \right), \quad P_1 = \gamma \left( \frac{1}{2} b_1 y_1^2 + \frac{z_1}{3} y_1^3 \right) \cos \theta_1, \quad P_2 = \gamma \left( \frac{1}{2} b_2 y_2^2 + \frac{z_2}{3} y_2^3 \right).$$

Тогда учитывая (2) и выполнив используя алгебраические преобразования в (3.13) будем иметь:

$$\frac{\gamma}{g} [Q_2 v_2 \cos \theta_2 + Q_1 v_1 \cos \theta_1 - Q_0 v_0 + Q_2 v_0 \sin \theta_2 + Q_1 v_0 \sin \theta_1] =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\gamma}{g} \left[ \frac{Q_2 Q_2}{A_2} \cos \theta_2 + \frac{Q_1 Q_1}{A_1} \cos \theta_1 - \frac{Q_0 Q_0}{A_0} + \frac{Q_2 Q_0}{A_0} \sin \theta_2 + \frac{Q_1 Q_0}{A_0} \sin \theta_1 \right] = \\
&= \frac{\gamma Q_0^2}{g A_0} \left[ \frac{1}{Q_0^2} \frac{Q_2^2}{A_2/A_0} \cos \theta_2 + \frac{1}{Q_0^2} \frac{Q_1^2}{A_1/A_0} \cos \theta_1 - 1 + C \left( \frac{Q_2}{Q_0} \sin \theta_2 + \frac{Q_1}{Q_0} \sin \theta_1 \right) \right]. \quad (3.14)
\end{aligned}$$

Если

$$v_0 = \frac{Q_0}{A_0}, \quad v_1 = \frac{Q_1}{A_1}, \quad v_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

Обозначим коэффициент расхода

$$q_r = \frac{Q_1}{Q_0},$$

тогда

$$Q_0 = Q_2 + Q_0 q_r$$

и впоследствии получаем

$$\frac{Q_1}{Q_0} = 1 - q_r.$$

Учитывая эти равенства из (3.14) получаем выражение:

$$\begin{aligned}
&\frac{\gamma Q_0^2}{g A_0} \left[ \frac{Q_2^2}{Q_0^2} \frac{1}{A_2/A_0} \cos \theta_2 + \frac{Q_1^2}{Q_0^2} \frac{1}{A_1/A_0} \cos \theta_1 - 1 + C \left( \frac{Q_2}{Q_0} \sin \theta_2 + \frac{Q_1}{Q_0} \sin \theta_1 \right) \right] = \\
&= \frac{\gamma Q_0^2}{g A_0} \left[ (1 - q_r)^2 \frac{1}{(A_2/A_0)} \cos \theta_2 + (q_r)^2 \frac{1}{(A_1/A_0)} \cos \theta_1 - 1 + C \left( (1 - q_r) \sin \theta_2 + \right. \right. \\
&\left. \left. + q_r \sin \theta_1 \right) \right]. \quad (3.15)
\end{aligned}$$

Принимая во внимание равенство (3.14) получим

$$\frac{Q_0^2}{g A_0} = \frac{Q_0^2}{g A_0} \frac{T_0 A_0^2}{T_0 A_0^2} = \frac{Q_0^2 T_0 A_0^2}{g A_0^3 T_0} = F_r^2 \frac{A_0^2}{T_0} = \xi, \quad (3.16)$$

из выражения (3.7) получим:

$$F_r^2 = \frac{Q^2}{A^2 g \frac{A}{T}} = \frac{Q^2}{g A^3} T = \frac{Q^2}{g A_0^3} T_0. \quad (3.17)$$

Поскольку  $D = A/T$ , тогда  $A = by + zy^2$ ,  $A_0 = b_0 y_0 + z_0 y_0^2$ ,  $T = b_0 + 2z_0 y_0$  и выражение (3.16) примет вид:

$$\xi = F_r^2 \frac{A^2}{T_0} = F_r^2 \frac{(b_0 y_0 + z y_0^2)^2}{b_0 + 2z y_0} = F_r^2 \frac{b_0^2 y_0^2 + 2b_0 z y_0^3 + z^2 y_0^4}{b_0 + 2z y_0}. \quad (3.18)$$

Допуская, что

$$z = \frac{k_0 b_0}{y_0}$$

и разложив это выражение на множители, получим:

$$\begin{aligned}\xi &= F_r^2 \frac{b_0^2 y_0^2 + 2b_0 z y_0^3 + z^2 y_0^4}{b_0 + 2zy_0} = F_r^2 \frac{b_0^2 y_0^2 + 2b_0 y_0^3 \frac{k_0}{b_0} + \frac{k_0^2 b_0^2 y_0^4}{y_0^2}}{b_0 + 2 \frac{k_0 b_0}{y_0} y_0} = F_r^2 \frac{b_0^2 y_0^2 + 2b_0 y_0^3 \frac{k_0 b_0}{y_0} + \frac{k_0^2 b_0^2}{y_0^2} y_0^4}{b_0 + 2 \frac{k_0 b_0}{y_0} y_0} = \\ &= F_r^2 \frac{b_0^2 y_0^2 (1 + 2k_0 + k_0^2)}{b_0 (1 + 2k_0)} = F_r^2 \frac{b_0 y_0^2}{(1 + 2k_0)} (1 + k_0)^2.\end{aligned}\quad (3.19)$$

Следовательно,

$$\frac{Q_0^2}{2A_0} = F_r^2 b_0 y_0^2 \frac{(1 + k_0)^2}{(1 + 2k_0)},$$

тогда:

$$\frac{A_2}{A_0} = \frac{b_2 y_2 + z y_2^2}{b_0 y_0 + z y_0^2}.\quad (3.20)$$

где  $A_2 = b_2 y_2 + z y_2^2$  и  $A_0 = b_0 y_0 + z y_0^2$ .

Пусть

$$\frac{y_2}{y_0} = y_r, \quad \frac{b_2}{b_0} = Br_2 \quad \text{и} \quad \frac{b_1}{b_0} = Br_1,$$

из (3.20) получаем:

$$\begin{aligned}\frac{A_2}{A_0} &= \frac{y_r y_0 b_0 Br_2 + z y_0^2 y_r^2}{b_0 y_0 + z y_0^2} = \frac{y_r b_0 Br_2 + z y_r^2 y_0}{b_0 + z y_0} = \frac{y_r b_0 Br_2 + \frac{k_0 b_0}{y_0} y_r^2 y_0}{b_0 + \frac{k_0 b_0}{y_0} y_0} = \frac{y_r b_0 Br_2 + k_0 b_0 y_r^2}{b_0 + k_0 y_0} = \\ &= \frac{y_r Br_2 + k_0 y_r^2}{1 + k_0} = \frac{y_r (Br_2 + k_0 y_r)}{1 + k_0}.\end{aligned}\quad (3.21)$$

Точно так же член  $\frac{A_1}{A_0}$  определяется выражением:

$$\frac{A_1}{A_0} = \frac{y_r b_0 Br_1 + z y_0^2 y_0}{b_0 + z y_0} = \frac{y_r (Br_1 + k_0 y_r)}{1 + k_0}.\quad (3.22)$$

В нашем случае глубины всех каналов равны:

$$y_0 = y_1 = y_2,$$

и коэффициент глубины

$$y_r = \frac{y_1}{y_0} = \frac{y_2}{y_0}.$$

Теперь подставив эти уравнения в формулу (3.15).

$$\begin{aligned}&\frac{\gamma}{g} \left[ \frac{Q_2 Q_2}{A_2} \cos \theta_2 + \frac{Q_1 Q_1}{A_1} \cos \theta_1 - \frac{Q_0 Q_0}{A_0} + \frac{Q_2 Q_0}{A_0} \sin \theta_2 + \frac{Q_1 Q_0}{A_0} \sin \theta_1 \right] = \\ &= \frac{\gamma Q_0^2}{g A_0} \left[ \frac{A_0 Q_2^2}{Q_0^2 A_2} \cos \theta_2 + \frac{A_0 Q_1^2}{Q_0^2 A_1} \cos \theta_1 - \frac{A_0 Q_0^2}{Q_0^2 A_0} + \frac{A_0 Q_2 Q_0}{Q_0^2 A_0} \sin \theta_2 + \frac{A_0 Q_1 Q_0}{Q_0^2 A_0} \sin \theta_1 \right] =\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\gamma Q_0^2}{g A_0} \left[ \frac{1}{Q_0^2} \frac{Q_2^2}{A_0} \cos\theta_2 + \frac{1}{Q_0^2} \frac{Q_1^2}{A_0} \cos\theta_1 - 1 + C \left( \frac{Q_2}{Q_0} \sin\theta_2 + \frac{Q_1}{Q_0} \sin\theta_1 \right) \right] = \\
&= \gamma \frac{Q_0^2}{g A_0} \left[ \frac{(1-q_r)^2}{y_r} \left( \frac{1+k_0}{B_{r2}+k_0 y_r} \right) \cos\theta_2 + \frac{q_r^2}{y_r} \left( \frac{1+k_0}{B_{r1}+k_0 y_r} \right) \cos\theta_1 - 1 + C((1-q_r)\sin\theta_2 + \right. \\
&\quad \left. + q_r \sin\theta_1) \right]. \tag{3.23}
\end{aligned}$$

После упрощения выражения (3.23) можно представить правую его часть в таком виде:

$$\begin{aligned}
&\gamma F_r^2 b_0 y_0^2 \frac{(1+k_0)^2}{(1+2k_0)} \left[ \frac{1+k_0}{y_r} \left( \frac{1+k_0}{B_{r2}} \right) \cos\theta_2 + \frac{q_r^2}{(B_{r1}+k_0 y_r) y_r / (1+k_0)} \cos\theta_1 - 1 + \right. \\
&\quad \left. + C((1-q_r)\sin\theta_2 + q_r \sin\theta_1) \right]. \tag{3.24}
\end{aligned}$$

Наконец, правая часть (3.12) равна правой части (3.24), и выражение записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
&\gamma \left[ \frac{1}{2} (b_0 y_0^2 - b_0 y_2^2 - b_0 y_1^2 \cos\theta_1) + \frac{z}{3} (y_0^3 - y_2^3 - b_0 y_1^3 \cos\theta_1) \right] = \\
&= \gamma F_r^2 b_0 y_0^2 \frac{(1+k_0)^2}{(1+2k_0)} \left[ \frac{1+k_0}{y_r} \left( \frac{1+k_0}{B_{r2}} \right) \cos\theta_2 + \frac{q_r^2}{(B_{r1}+k_0 y_r) y_r / (1+k_0)} \cos\theta_1 - 1 + \right. \\
&\quad \left. + C((1-q_r)\sin\theta_2 + q_r \sin\theta_1) \right] = (1+2k_0) \left[ \frac{1}{2} (b_0 y_0^2 - b_0 y_2^2 - b_0 y_1^2 \cos\theta_1) + \right. \\
&\quad \left. \frac{z}{3} (y_0^3 - y_2^3 - y_1^3 \cos\theta_1) \right] = (1+2k_0) \left[ \frac{1}{2} (b_0 y_0^2 - b_0 y_r^2 y_2^2 - B_{r1} b_0 b_0^2 y_r^2 \cos\theta_1) + \right. \\
&\quad \left. \frac{k_0 b_0}{3 y_0} (y_0^3 - y_r^3 y_0^3 - y_r^3 y_0^3 \cos\theta_1) \right] = (1+2k_0) \left[ \frac{1}{2} b_0 y_0^2 (1 - y_r^2 - B_{r1} y_r^2 \cos\theta_1) + \right. \\
&\quad \left. \frac{k_0 b_0}{3 y_0} y_0^3 (1 - y_r^3 - y_r^3 \cos\theta_1) \right] = \gamma F_r^2 b_0 y_0^2 (1+k_0)^2 \left[ \frac{1}{2} b_0 y_0^2 (1 - y_r^2 - \right. \\
&\quad \left. B_{r1} y_r^2 \cos\theta_1) + \frac{k_0 b_0}{3 y_0} y_0^3 (1 - y_r^3 - y_r^3 \cos\theta_1) \right]
\end{aligned}$$

Затем:

$$\begin{aligned}
&\frac{(1+2k_0)}{b_0 y_0^2} \left[ \frac{1}{2} b_0 y_0^2 (1 - y_r^2 - B_{r1} y_r^2 \cos\theta_1) + \frac{k_0 b_0}{3 y_0} y_0^3 (1 - y_r^3 - y_r^3 \cos\theta_1) \right] = \\
&(1+2k_0) \left[ \frac{1}{2} \frac{b_0 y_0^2}{y_0^2 b_0} (1 - y_r^2 - B_{r1} y_r^2 \cos\theta_1) + \frac{k_0 b_0 y_0^2}{3 y_0^2 b_0} (1 - y_r^3 - y_r^3 \cos\theta_1) \right] = \\
&(1+k_0) \left[ \frac{1}{2} (1 - y_r^2 - B_{r1} y_r^2 \cos\theta_1) + \frac{k_0}{3} (1 - y_r^3 - y_r^3 \cos\theta_1) \right] = F_r^2 (1 +
\end{aligned}$$

$$+k_0)^2 \left[ \frac{1+k_0}{y_r} \left( \frac{(1-q_r)^2}{B_{r2}+k_0y_r} \right) \cos\theta_2 + \frac{q_r^2}{B_{r2}+k_0y_r} \cos\theta_1 - 1 + C((1-q_r)\sin\theta_2 + q_r\sin\theta_1) \right]. \quad (3.25)$$

Уравнение (3.25) упрощаем с получением общего уравнения, которое определяет бифуркационное течение:

$$(1+k_0) \left[ \frac{1}{2} (1-y_r^2 - B_{r1}y_r^2 \cos\theta_1) + \frac{k_0}{3} (1-y_r^3 - y_r^3 \cos\theta_1) \right] = F_r^2 (1+k_0)^2 \left[ \frac{1+k_0}{y_r} \left( \frac{(1-q_r)^2}{B_{r2}+k_0y_r} \right) \cos\theta_2 + \frac{q_r^2}{B_{r2}+k_0y_r} \cos\theta_1 - 1 + C((1-q_r)\sin\theta_2 + q_r\sin\theta_1) \right]. \quad (3.26)$$

$$\frac{A_1}{A_0} = \frac{b_1y_1+k_0b_0y_1y_r}{b_0y_0+k_0b_0y_0} = \frac{\frac{b_1y_1+k_0b_0y_1y_r}{b_0y_0} + \frac{k_0b_0y_1y_r}{b_0y_0}}{1+\frac{k_0b_0y_0}{b_0y_0}} = \frac{B_{r1}y_r+k_0y_ry_r}{1+k_0} = \frac{y_r(B_{r1}+k_0y_r)}{1+k_0}. \quad (3.27)$$

Пусть  $y_r = \frac{y_2}{y_0} = \frac{y_1}{y_0}$ , если  $y_r = y_1 = y_2$  тогда  $y_r = \frac{y_0}{y_0} = \frac{y_0}{y_0} = 1$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (b_0y_0^2 - b_0y_2^2 - b_0y_1^2 \cos\theta_1) &= \frac{1}{2} (b_0y_0^2 - b_0y_r^2y_2^2 - B_{r1}b_0y_0^2y_r^2 \cos\theta_1) \\ &= \frac{1}{2} (b_0y_0^2 - b_0y_0^2y_r^2y_2^2 - B_{r1}b_0y_0^2y_r^2 \cos\theta_1) \\ &= \frac{1}{2} b_0y_0^2 (1 - y_r^2 - B_{r1}y_r^2 \cos\theta_1). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{(1+2k_0)}{F_r^2(1+k_0)^2} \left[ \frac{1}{2} (1-y_r^2 - B_{r1}y_r^2 \cos\theta_1) + (1-y_r^3 - y_r^3 \cos\theta_1) \right] \\ = \left( \frac{1+k_0}{y_r} \frac{(1-q_r)^2}{(B_{r2}+k_0y_r)} \cos\theta_2 + \frac{y_r^2}{B_{r2}+k_0y_r} \cos\theta_1 \right) - 1 \\ + C((1-q_r)\cos\theta_2 + q_r\sin\theta_1). \end{aligned}$$

Обозначив:

$$\xi = \frac{1+2k_0}{F_r^2(1+2k_0)^2} \left[ \frac{1}{2} (1-y_r^2 - B_{r1}y_r^2 \cos\theta_1) + \frac{k_0}{3} (1-y_r^3 - y_r^3 \cos\theta_1) \right].$$

Получаем:

$$\xi_1 = \frac{1+k_0}{y_r} \frac{\cos\theta_2}{B_{r2}+k_0y_r} (1-y_r)^2 + \frac{\cos\theta_1}{B_{r1}+k_0y_r} q_r^2 - 1 + C(\sin\theta_2) + q_r C(\sin\theta_2 - \sin\theta_1).$$

Отсюда,

$$\xi_1 + 1 - C \sin \theta_2 = \frac{1+2k_0}{y_r} \frac{1}{B_{r2}+k_0 y_r} \cos \theta_2 (1 - y_r)^2 +$$

$$+ \frac{1}{B_{r1}+k_0 y_r} \cos \theta_1 q_r^2 + q_r C (\sin \theta_2 - \sin \theta_1).$$

Затем обозначив:

$$\frac{1+2k_0}{y_r} \frac{\cos \theta_2}{B_{r2}+k_0 y_r} = A_1,$$

$$\frac{\cos \theta_1}{B_{r1}+k_0 y_r} = B_1,$$

$$\xi_1 + 1 - C \sin \theta_2 = C_1$$

и

$$C (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) = D_1$$

получим такое уравнение

$$C_1 = A_1 (1 - q_r)^2 + B_1 q_r^2 + q_r D_1 = A_1 - 2A_1 q_r + A_1 q_r^2 + B_1 q_r^2 + q_r D_1 =$$

$$= A_1 + (D - 2A_1) q_r + (A_1 + B_1) q_r^2,$$

где.

$$F_0 = 0.047,$$

$$C = \frac{5}{6} - \frac{F_0^2}{40} - \frac{k_0}{12q_r} \left[ \frac{1+2k_0}{(1+k_0)^2} \right] \approx \frac{5}{6},$$

$$Q_0 = 1000 \frac{m^3}{c}.$$

В результате преобразований получили квадратное уравнение:

$$(A_1 + B_1) q_r^2 + (D - 2A_1) q_r + (A_1 - C_1) = 0. \quad (3.28)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$q_{r1} = \frac{-(D-2A_1)+\sqrt{D}}{2(A_1+B)}, \quad (3.29)$$

$$q_{r2} = \frac{-(D-2A_2)-\sqrt{D}}{2(A_2+B)}. \quad (3.30)$$

Рассмотрим данную модель на примере р. Пяндж, у острова Даркад, где у северо-восточной части острова р. Пяндж ответвляется на многочисленные протоки.

Объем речного стока р. Пяндж около 1000 м<sup>3</sup>/с до бифуркации (соединения (канал 1) и (канал 2)), зависит от углов бифуркации,  $\theta_1$  и  $\theta_2$ . Предполагается, что расход в основном канале составляет  $Q_0=1000$  м<sup>3</sup>/с, а  $Q_1$

и  $Q_2$  – это расходы в канале 1 и 2, соответственно. Ожидается, что критический расход в канале 1 составит  $Q_1 = 1000 \text{ м}^3/\text{с}$ . Мы предполагаем, что если расход превышает это значение, в канале 1 произойдет затопление. Следовательно, уравнение (3.27) может применяться для определения расхода в канале 1 и канале 2 с разными углами разветвления.

Также здесь надо учитывать коэффициент шероховатости, то есть коэффициент Мэннинга (коэффициент шероховатости или его называют коэффициентом Гоклера-Мэннинга, величина, численно характеризующая сопротивление, оказываемое руслом протекающему потоку).

Принято считать, что величина коэффициента уменьшается с увеличением глубины (до уровня выхода воды на пойму). Коэффициент шероховатости можно вычислить также по единичным измерениям расходов воды и уклонов, используя уравнение:

$$n = \frac{I^{1/2} H^{5/3} B}{Q} \quad (3.31)$$

где:  $I$  - уклон водотока,  $H$  - средняя глубина,  $B$  - ширина водотока,  $Q$  - измеренный расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Поставив параметры для р. Пяндж, в (3.31) рассматриваемом участке получим коэффициент Мэннинга:

$$n = \frac{I^{1/2} H^{5/3} B}{Q} = \frac{2.6^{1/2} 3.5^{5/3} 300}{1000} = 3,84.$$

Эта общая задача была поставлена нами для моделирования. Для практических целей предполагается, что каналы чистые, прямые, с полной стадией, без трещин или глубоких бассейнов. Таким образом, величина  $n=3,84$  выбирается в качестве коэффициента Мэннинга, а уклон основного канала составляет  $I=2,6 \text{ м/км}$ .

Другим параметром, который нам предстоит вычислить, является число Фруда. Число Фруда определяется по формуле:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gD}} = \frac{Q}{A \sqrt{g(A/T)}} = \frac{1000}{1129 \sqrt{9,8(1129/300)}} = \frac{1000}{685303} = 0.145.$$

Поскольку число Фруда для основного канала составляет  $F=0.145$ , можно считать, что поток является докритическим. Геометрические и гидравлические свойства раздвоенного канала, использованного в предлагаемой модели, представлены в таблице 3.1.

Для анализа результатов построена модель с использованием программного обеспечения Excel. Углы бифуркации,  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , рассматриваемые в данном исследовании, составляют 0, 15, 30, 45, 60, 75 и 90°.

Таблица 3.1. - Гидравлические и геометрические параметры раздвоенного канала

Основные гидравлические параметры	Обозначение гидравлических параметров	Основной канал
Уголь наклона стороны	A	60°
Глубина, м	Y	3,5
Канал бокового откоса, м	Z	4,089
Верхняя ширина, м	T	300
Нижняя ширина, м	B	271,3
Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	A	1000
Смоченная длина, м	$\lambda$	14,709
Смачиваемый периметр, м	$P_w$	301
Гидравлический радиус, м	$R_H$	3,3
Гидравлическая глубина, м	D	3,3

Часть геометрических параметров реки Пяндж на рассматриваемой нами участке известны. Некоторых других геометрических и гидравлических параметров определим с помощью известных нам уравнений, которые в дальнейшем мы используем в данную модель.

Значения соотношений расходов  $q_r$ , расходов в канале 1, ( $Q_1$ ) и расходов в каналах 2, ( $Q_2$ ) приведены в таблицах 3.2- 3.5.



Таблица 3.2. - Расход в каналах 1 и 2 при ( $\theta_1 = 0^\circ$ ) и ( $\theta_1 = 15^\circ$ )

$\theta_1 = 60^\circ$				$\theta_1 = 15^\circ$			
$\theta_2$	$q_r$	$Q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{с}$	$\theta_2$	$q_r$	$Q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{с}$
<b>0</b>	0,754	754	246	<b>0</b>	0,740	740	260
<b>15</b>	0,762	762	238	<b>15</b>	0,747	747	253
<b>30</b>	0,751	754	246	<b>30</b>	0,730	737	263
<b>45</b>	0,723	723	277	<b>45</b>	0,704	704	296
<b>60</b>	0,650	650	350	<b>60</b>	0,623	623	377
<b>75</b>	0,453	453	547	<b>75</b>	0,411	411	589
<b>80</b>	0,307	307	693	<b>80</b>	0,254	254	746
<b>85</b>	0,044	44	956	<b>84</b>	0,043	43	956

Таблица 3.3. - Расход в каналах 1 и 2 при ( $\theta_1 = 30^\circ$ ) и ( $\theta_1 = 45^\circ$ )

$\theta_1 = 30^\circ$				$\theta_1 = 45^\circ$			
$\theta_2$	$q_r$	$Q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{с}$	$\theta_2$	$q_r$	$Q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{с}$
<b>0</b>	0,726	726	274	<b>0</b>	0,714	714	286
<b>15</b>	0,733	733	267	<b>15</b>	0,721	721	279
<b>30</b>	0,722	722	278	<b>30</b>	0,708	708	292
<b>45</b>	0,685	685	315	<b>45</b>	0,669	669	331
<b>60</b>	0,599	599	401	<b>60</b>	0,578	578	422
<b>75</b>	0,372	372	628	<b>75</b>	0,338	338	662
<b>80</b>	0,204	204	796	<b>80</b>	0,161	161	839
<b>83</b>	0,047	47	953	<b>83</b>	0,00	0	1000

Таблица 3.4 - Расход в каналах 1 и 2 при ( $\theta_1 = 60^\circ$ ) и ( $\theta_1 = 75^\circ$ )

$\theta_1 = 60^\circ$				$\theta_1 = 75^\circ$			
$\theta_2$	$q_r$	$Q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{с}$	$\theta_2$	$q_r$	$Q_1, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{с}$
<b>0</b>	0,705	705	295	<b>0</b>	0,700	700	300
<b>15</b>	0,711	711	289	<b>15</b>	0,705	705	295
<b>30</b>	0,698	698	302	<b>30</b>	0,692	692	308
<b>45</b>	0,657	657	343	<b>45</b>	0,649	649	351
<b>60</b>	0,562	562	468	<b>60</b>	0,552	552	448
<b>75</b>	0,312	312	688	<b>75</b>	0,296	296	704
<b>80</b>	0,128	128	872	<b>80</b>	0,107	107	803
<b>82</b>	0,020	20	980	<b>82</b>	0,000	0	1000

Таблица 3.5 - Расход в каналах 1 и 2 при ( $\theta_1 = 90^\circ$ )

$\theta_1 = 90^\circ$			
$\theta_2$	$q_r$	$Q_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_2, \text{ м}^3/\text{с}$
0	0,698	698	302
15	0,709	703	297
30	0,689	689	311
45	0,647	647	353
60	0,548	548	452
75	0,290	290	710
80	0,100	100	900
82	0,00	0	1000

Следует отметить, что  $q_r$  – это отношение расхода в канале 1 к расходу в основном канале. Для простоты графическое представление соотношений расходов и углов бифуркации показано на рисунке 3.3.

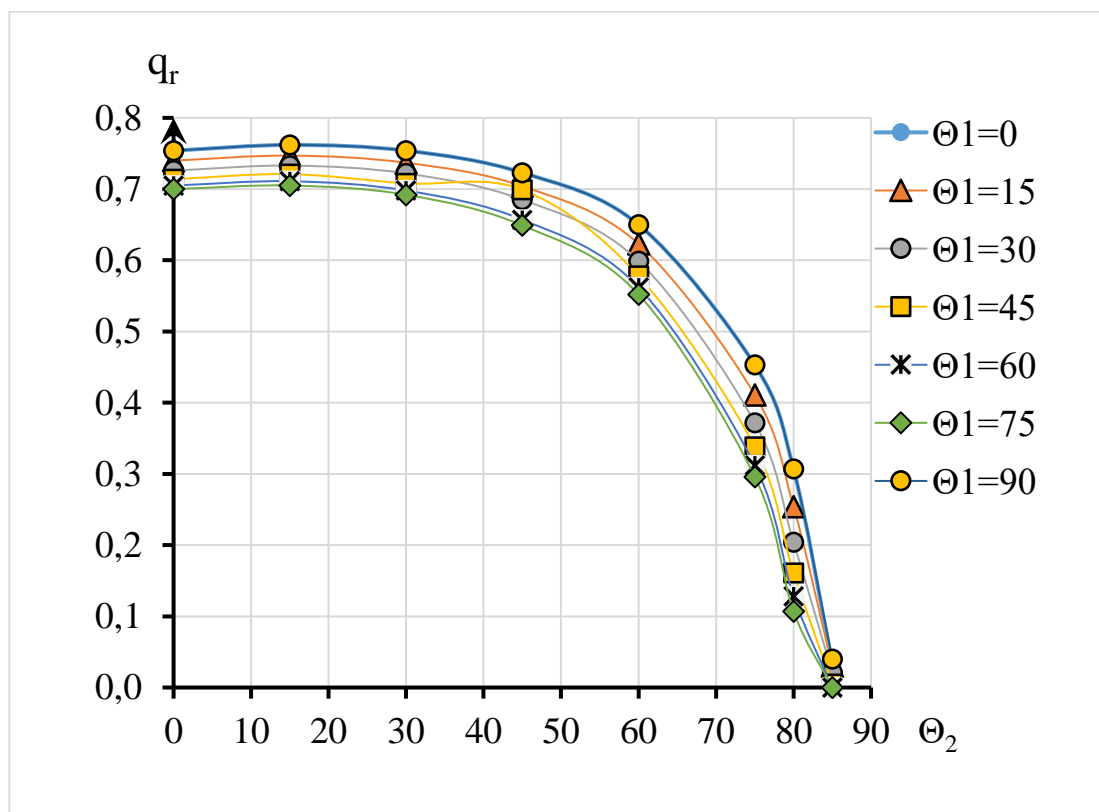


Рисунок 3.3. - График соотношений расходов  $q_r$  относительно  $\theta_2$ , когда:

$\theta_1 = 0, 15, 30, 45, 60, 75$  и  $85^\circ$  (рисунок разработана автором)

Количество  $Q_1$  меньше  $956 \text{ м}^3/\text{с}$ , когда  $\theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 85^\circ$ , и  $\theta_1 = 15^\circ$  и  $\theta_2 = 84^\circ$ , при других углах получаем значение меньше  $746 \text{ м}^3/\text{с}$ . Если  $\theta_1 = 30^\circ, 45^\circ$  и

$\theta_2=83^\circ$ , тогда  $Q_1$  имеет значение  $953 \text{ м}^3/\text{с}$ , в других случаях - меньше  $839 \text{ м}^3/\text{с}$ . Для  $\theta_1=60^\circ$  или  $75^\circ$ , и  $\theta_2=82^\circ$  величина  $Q_1$  примет значение больше  $980 \text{ м}^3/\text{с}$ , в остальных случаях меньше  $872 \text{ м}^3/\text{с}$ . Если  $\theta_1=90^\circ$ , а  $\theta_2=80^\circ$  или  $82^\circ$ , тогда  $Q_1$  примет значение  $900$  и  $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ , соответственно. Величина  $Q_1$  принимает значение меньше  $800 \text{ м}^3/\text{с}$ , когда  $\theta_1=60^\circ$ , и  $\theta_2=75^\circ$  или  $90^\circ$ .

$Q_1$  значительно уменьшается, когда  $\theta_2=90^\circ$ . Наименьшее значение  $Q_1$  – это когда  $\theta_1=75^\circ$  и  $\theta_2=90^\circ$ , как показано в таблице 3.6. При углах  $\theta_1=60^\circ$  и  $\theta_2=60^\circ$  значения  $Q_1$  и  $Q_2$  будут равнозначными в обоих каналах.

Однако  $Q_1$  становится больше критического расхода, когда  $\theta_1=\theta_2=90^\circ$ . Значения угла бифуркации, когда  $Q_1$  меньше критического расхода, сведены в таблицу 3.6.

Таблица 3.6. - Углы бифуркации при  $q_r < 0,7$  (в градусах)

$\theta_1$	$\theta_2$
0	60, 75, 80, 85
15	60, 75, 80, 83
30	45, 60, 75, 80, 83
45	45, 60, 75, 82
60	30, 45, 60, 75, 80, 82
75	30, 45, 60, 75, 80, 82
90	0, 30, 45, 60, 75, 80, 82

Как видно из рисунка 3.3., он представляет собой график зависимости  $q_r$  от  $\theta_2$ , где значения  $\theta_1$  находятся в диапазоне от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Горизонтальная пунктирная линия при  $q_r=0,8$  представляет собой критическое соотношение расходов. Для любого  $\theta_1$  можно видеть, что  $q_r$  приближается к критическому коэффициенту расхода, за исключением случая, когда  $\theta_2=90^\circ$ . Чтобы избежать переполнения в канале 1, значения  $\theta_1$  и  $\theta_2$  не могут быть равными  $90^\circ$ .

Из полученных результатов можно заметить, что прямоугольная бифуркация на одном из ответвлений (либо  $\theta_1=90^\circ$ , либо  $\theta_2=90^\circ$ ) может быть

эффективной для значительного уменьшения расхода в канале 1. Однако T-образное соединение (когда и  $\theta_1$ , и  $\theta_2$  равны  $90^\circ$ ) не рекомендуется.

### **Выводы по третьей главе**

1. Рассмотрен механизм формирования русловых процессов в притоках после разветвления на примере реки Пяндж.

2. Предложена математическая модель с учетом различных параметров и характеристик, при расходе воды в реке под разными углами разветвления.

3. Предложенная математическая модель распределения количества воды после разветвления адаптирована к гидрологическим параметрам р. Пяндж и даёт возможность оптимального распределения воды при разветвлении угла в  $60^\circ$ .

4. Предложенная модель хорошо согласуется с реальными параметрами русловых процессов реки Пяндж.

5. В результате расчёта обнаружена корреляция между углами разветвления и количеством воды, протекаемом по протокам.

## **ГЛАВА 4. ФОРМАТ И СОДЕРЖАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РУСЛОВОГО РЕЖИМА НА РЕКАХ**

Каждая долина отличается оригинальностью гидрографической сети, а также особыми водными режимами. Если в долине происходит изменение географического ландшафта (в частности, по причине изменения климата), то, как следствие, на данной территории изменяются и гидрографические характеристики. При этом здесь прослеживается, как прямая, так и обратная связь, поскольку водные факторы также способны преобразовывать ландшафты. Не менее важны и действия человека на водосборе рек.

Иногда разработка песчано-гравийной смеси в поймах рек может привести к изменению русла реки. Примером этого изменения является изменение русла р. Зеравшан у города Пенджикент. Селективным отбором определённых фракций в пойме были выбраны наиболее мелкие фракции, а большие накапливались, оставаясь у берегов и иногда в сезон межени – посередине русла реки. В сезон половодья, когда вода в реках увеличивается втрое, то эти накопления остаются посреди реки и разветвляют русло в разные стороны, что приводит к изменению части русла.

Наиболее существенное влияние на изменения гидрогеографической сети в бассейнах горных рек оказывают атмосферные осадки, такие как дождь, град и снег. В результате обильных осадков по оврагам, саям и ручейкам сходят разрушительные сели и лавины. Иногда в результате таких природных явлений перекрываются русла рек, в некоторых случаях русла рек изменяют свои направления.

Рассмотрим особенности руслового режима в реках Зеравшан, Обихингоу и Пяндж (в нижнем течении) с целью их последующего обобщения и разработки алгоритма (дорожной карты) по их учёту при инженерном обустройстве рек центрального и южного Таджикистана.

Верховья рек Пянджа, Зеравшана и Обихингоу мало подвержена антропогенному воздействию. Все русловые деформации происходивших в верховьях этих рек в основном имеют природный характер.

#### **4.1. Реки Пяндж, Зеравшан, Обихингоу**

Как было указано в разделе 2.2, р. Зеравшан, стекая с востока на запад, постепенно выходит на широкое русло. Долина р. Зеравшан, начиная от кишлака Даштикозы, постепенно расширяется и в соответствии с этим и русло реки тоже расширяется. Разветвление реки на рукава, блуждание и меандрирование, начиная с этого места, становятся заметными.

Режим питания р. Зеравшан является ледниково-снеговым. Среднемноголетний расход р. Зеравшан на выходе из гор в долину равен 190 м<sup>3</sup>/с, сток воды 6,0 км<sup>3</sup>/год, среднемноголетний расход реки на границе между Таджикистаном и Узбекистаном -140-160 м<sup>3</sup>/с. р. Зеравшан протекает по территории трёх административным районам: Педжекентского, Айнинского и Кухистони Масчох.

В бассейне р. Зеравшан нами зарегистрирован 992 реки, речки и ручейки с обоих берегов, являющимися притоками реки Зеравшан. Из того количества рек 121 являются притоками первого порядка, т.е. непосредственно втекающих в р. Зеравшан. 65 рек стекают на правом (с южной экспозиции Туркестанского хребта) и 56 на левом берегу с северной части Зеравшанского хребта. Устье рек, которые стекают, на правом берегу начинаются с высоты 920 м (Хонакосой) абс., а на левом берегу устье рек начинаются с высоты 929 м. абс. (Камартошсой). Самая высокая (восточная) из притоков правого берега является речка, не имеющего официального название, с устьем 2798 м. абс. и р. Парох с левого берега с устьем на высоте 2803 м. абс.

Основными факторами влияющие на русла рек в бассейне р. Зеравшан, являются антропогенные и природные.

В верховьях р. Зеравшан значительных антропогенных воздействий на русло реки не наблюдается. Но долгосрочные гидроэнергетические планы по строительству ГЭС по бассейну р. Зеравшан рассматривают строительство 18-ти гидроэлектростанций разных масштабов. При строительстве такого количества ГЭС антропогенное воздействие на русла р. Зеравшан и его притоков станет ощутимым.

На реках бассейна р. Зеравшан самостоятельно построено и функционирует более 50 малых ГЭС, которые работают почти круглогодично. Все они являются деривационными и почти не влияют на русла рек.

Сезон половодья на р. Зеравшан начинается с июня по август месяц, ежегодно. Именно в этот период затапливаются поймы рек и прибрежные сельскохозяйственные земли. В районах Горная Матча и Айни прибрежных земель у берегов р. Зеравшан почти не существует. Основная масса таких земель расположена вдоль р. Зеравшан в центральной и западной части Пенджикентского района.

Как было указано выше, на территории бассейна р. Зеравшан, её таджикостанской части, только на западной части можно встретить рисовые поля, посеянные вдоль берегов и пойм реки. Основное блуждание и разветвление реки тоже можно встретить на этих участках. Р. Зеравшан течёт по глубоко врезанной долине (выше Пенджикентского района), и поэтому значительных русловых деформаций не наблюдается, хотя в некоторые годы в сезон паводков наблюдается смыв берегов.

Наиболее значимые территории, подвергающиеся горизонтальной деформации - эта левобережная часть р. Зеравшан в районе кишлака Гусар (рисунок 4.1.), левобережная часть р. Зеравшан в районе кишлака Суджина, в районе города Пенджикент (оба берега) и далее до плотины Ходжаработ, разделяющей границу между Республикой Таджикистан и Узбекистаном.



**Рисунок 4.1. - Разветвление р. Зеравшан у села Гусар (12.09.2021 г.)**

(рисунок: фото автора)

Самое заметное антропогенное воздействие в русле р. Зеравшан наблюдается у города Пенджикента и его окрестностях. Массовая выработка щебня и гравия у русла и поймы реки, самостоятельное строительство дамбы без всяких согласований с соответствующими структурами становятся причиной заметных русловых деформаций. Эти деформации иногда приводят к трагическим последствиям. Только с 2018 по 2021 гг. на территории г. Пенджикента были построены четыре (все на русле р. Зеравшан) завода по переработке песка и щебня, что может значительно повлиять на преобразования русла реки.

Как было указано в первой главе, природные факторы являются основа русловых деформации в высокогорьях или у истоков р. Зеравшан. Массовый сход селей в наиболее жаркие годы способствуют как вертикальному так и горизонтальному значительному деформацию русла реки. Основной сход селя по нашим наблюдениям было отмечено в южных склонах Туркестанского хребта.



Кроме таяния ледников и снежного покрова в высокогорьях ливни и грады также являются факторами влияющие на русло реки. Это свойственно средним частям бассейна р. Зеравшан и Обихингоу. Например, в 2021 г. в р. Рузиобнок (Рудиобнок), правый приток р. Зеравшан из-за сильного ливня с этой речки сошёл сель тем самым перекрыл русло р. Зеравшан. В результате р. Зеравшан выдавленная селевым потоком пробивал себе новое русло смывая левый берег. Таких примеров можно привести десятками за последние два десятилетия.

Р. Обихингоу, как и р. Зеравшан, тоже стекает по глубоко вырезанной долине. Основное отличие в том, что р. Обихингоу до самого слияния с р. Сурхоб стекает по узкой долине.

Основной причиной русловых деформаций в р. Обихингоу является сход селей и лавин. Также в верховьях долины наблюдается пульсация некоторых ледников, которые тоже становятся причиной русловых деформаций.

Сельскохозяйственных земель у берегов р. Обихингоу по всей её длине не фиксируется.

На территории бассейна действует только один завод по промывке золота из аллювиальных отложений р. Обихингоу, который расположен на устье р. Обимазор (левый приток р. Обихингоу).

Река Амударья образуется от слияния р. Пяндж и р. Вахш. Эти реки берут своё начало в Памирской горной системе – самом высокогорном регионе ЦА с горными вершинами, достигающими более 7-ми тысяч метров. Аллювиальный конус выноса в районе М.С.А. Хамадони, с высотными отметками от 400 до 550 м абс., радиусом на территории Таджикистана 25 км и площадью около 470 км<sup>2</sup>, был сформирован речными наносами, транспортированными водотоками этого бассейна.

Среднегодовое количество осадков в бассейне р. Пяндж составляет 450 мм, более чем 90% из которых выпадает с декабря по май месяц. Таяние

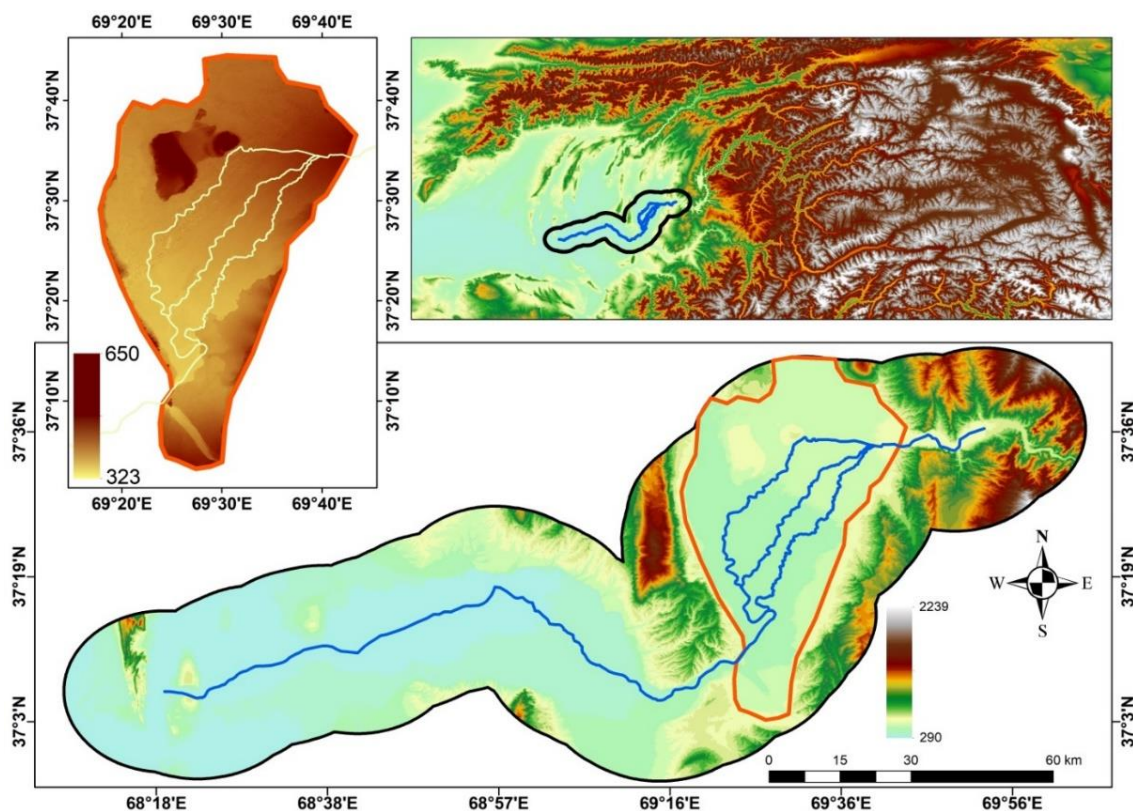
снега и ледников часто вызывает серьёзный ущерб при выходе из гор (аллювиальный конус выноса Хамадони) в период с мая месяца по август.

Русло р. Пяндж на аллювиальном конусе выноса является неустойчивым с наличием рукавов и излучин. На основе изучения полученных космоснимков и изучения карт за период с 1976 по 2006 гг., основное русло реки до 1980-х гг. проходило по территории ИРА, а начиная с 1990-х гг., основной водный поток изменил своё направление в сторону Таджикистана. С учётом состояния транспорта наносов можно утверждать, что одной из причин меандрирования является накопление отложений до определённой высоты и заполнение ими русла реки на стороне Афганистана с 1980-х гг.

Среднегодовой расход бассейна реки Пяндж составляет  $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ , что было применено в использованной нами модели. Как было указано выше, разветвления р. Пяндж начинаются у с. Чубек, где в сезон паводков начинается затопление правобережных земель, то есть земель, расположенных на территории РТ. Многие годы подряд строятся берегоукрепительные дамбы, но эти дамбы не всегда не эффективны.

На рисунке 4.2. приведено русло р. Пяндж (нижнее течение) и его прибрежные участки, которые находятся почти на одном высотном уровне с рекой. Также здесь указаны разветвления наиболее крупных протоков р. Пяндж на территории острова Даркад.

Северная часть острова Даркад (Уртатугай) приблизительно на 20 м ниже, чем южная (территория ИРА), и эти затопления будут продолжаться, так как катастрофические паводки цикличны (5, 10, 20, 30, 50 и 100-летние). Самыми разрушительными считаются паводками, происходившими раз в 30-100- лет, так как в это время количество воды в р. Пяндж составляет от  $5100$  до  $5900 \text{ м}^3/\text{с}$  (зафиксированные), что почти в шесть раз превышает среднегодовые нормы расходов воды.



**Рисунок 4.2. - Состояние рельефа острова Даркад и ниже по течению р. Пяндж**  
(рисунок разработана автором на основе программе ArcGIS)

В статье автора «О русловых процессах на реке Пяндж и их последствиях» [2-А], подробно описаны средние уклоны основных протоков р. Пяндж, протекающих по центру и окраинам острова Даркад.

О причинах и последствиях русловых деформации на территории острова Даркад подробно описаны отечественными учёными [73].

Кроме естественной аккумуляции и блуждания реки в сезон паводков и половодья другим фактором которая стала причиной увеличения горизонтальной деформации русла в низовьях р. Пяндж, -антропогенное вмешательство.

У истоков многих притоков р. Пяндж наблюдается как горизонтальные, так и вертикальные деформации. Существенных антропогенных воздействий у верховья р. Пяндж не существует. Основным фактором влияющие на русла реки в верховьях бассейна р. Пяндж –это природные. В некоторых участках р. Мургаб (приток второго порядка р. Пяндж) также наблюдается разветвление, блуждание и меандрирование, так как река течёт по высокогорному плоскогорью.

В 2015 г. у некоторых притоков р. Мургаб было замечено сход селей, которые стали причинами как горизонтальных, так и вертикальных деформаций.

#### **4.2. Алгоритм действий (дорожная карта) по учёту русловых процессов в инженерном обустройстве рек**

Ориентируясь на вышеизложенное и результаты математического моделирования гидрологической устойчивости речных бассейнов, мы рекомендуем следующие мероприятия по недопущению размыва берегов рек, удержанию водной массы в руслах рек и повышению их геоэкологической устойчивости.

При исследовании рассмотренных нами бассейнов были выявлены косвенные и непосредственные антропогенные воздействия на русла рек. За годы независимости нашей республики (31 год) антропогенные факторы по интенсивности и масштабам воздействия на русла, поймы, берега и водосборы рек стали соизмеримы с воздействиями природных факторов. Они не только способствуют возникновению опасных стихийных явлений, но иногда, в некоторых случаях они даже превосходят последствия природных факторов, таких, как селей, оползней и лавин.

Иногда масштабы антропогенных воздействий в корне меняют русловые процессы в бассейнах. Интенсивная выемка аллювия (песка, гравия, гальки и валунов) способствуют падению уровня воды, уменьшению стока наносов, изменению направления потока.

Интенсивное строительство гидротехнических сооружений (плотины водохранилищ, водозаборные сооружения, насосные станции и т.д.) на территории республики (в бассейнах рек Вахш, Зеравшан и Сырдарья), резкое потепление климата вынуждают нас принять серьёзные меры по изучению русловых деформаций на территории Таджикистана.

Последние способны размывать берега, изменять направления рек или полностью загромождать русла рек наносами. Такие случаи очень часто наблюдались за последние годы в бассейнах рек Зеравшан и Обихингоу.

Другим видом естественных деформаций горных рек являются лавины. Большое количество грязекаменных наносов, скользящих вместе со снегом, перегораживают и изменяют русла горных рек. Размеры каменных глыб, сносимых лавинами и селями, иногда настолько велики, что полностью могут перекрывать русла малых рек.

Алгоритм действия по минимизации ущерба от естественных и антропогенных деформаций русел рек Зеравшан, Обихингоу и Пяндж (нижнее течение) должен быть, на наш взгляд, следующим:

1. Строительство заводов, фабрик, жилых домов, производственных объектов, сельскохозяйственных объектов и т.д. в прибрежных зонах рек должно согласовываться с соответствующими структурами (Агентством мелиорации и ирригации при Правительстве РТ, Управлением геологии при Правительстве РТ, НАНТ, Комитетом по землеустройству и геодезии при Правительстве РТ и др.).

2. Расположение заводов, фабрик и других производственных предприятий (чьи отходы негативно влияют на русла рек и озёр) вблизи русел рек и озёр должно быть согласовано с соответствующими структурами (Агентством мелиорации и ирригации при Правительстве РТ, Министерством промышленности и новых технологий РТ, Министерством энергетики и водных ресурсов РТ, Комитетом по охране окружающей среды и НАНТ).

3. Места для постройки объектов народного хозяйства должны быть на наиболее возвышенных местах и у наиболее устойчивых русел.

4. Состояние берегов рек по территории РТ, в частности, их устойчивости, должно быть закартировано.

5. Для населения, проживающего в горах (аулах), систематически должны проводиться тренинги с соответствующими структурам по выбору

места временного жилья в горах (в отдалении от селеопасных притоков, лавиноопасных мест, на возвышенностях и т.д.).

6. Следует проводить ежегодный мониторинг (силами КЧС и ГО РТ, НАНТ, Агентства по лесному хозяйству РТ) наиболее используемых горных тропинок, проходящих вдоль горных рек, так как вероятность смыва берегов в сезон паводка и при сходе селей и лавин очень высока.

7. Необходимо проводить ежегодный прибрежный мониторинг высокогорных озёр (со стороны Агентства мелиорации и ирригации при Правительстве РТ, КЧС и ГО РТ, НАНТ, Министерства энергетики и водных ресурсов РТ), с целью изучения устойчивости береговых линий.

8. Проводить линии границ с сопредельными государствами, разделяющимися реками, не по руслам рек, так как русло реки по всей линии границы неодинаково устойчиво.

9. Запретить самовольное строительство дамб и водозаборов вдоль рек (Комитет по охране окружающей среды при Правительстве РТ).

10. Выемка и обработка гравия и щебня из русловых и прирусловых карьеров должна проводиться под наблюдением специалистов (Агентство мелиорации и ирригации при Правительстве РТ, НАНТ, Комитет по охране окружающей среды при Правительстве РТ).

11. Запретить предпринимателям и частным лицам выемку песка, гравия и щебня у русел и пойм рек без соответствующего разрешения (Министерство промышленности и новых технологий РТ, Комитет по охране окружающей среды при Правительстве РТ).

12. Строительство дорог и линий электропередач вдоль русел рек и по дну долин и ущелий должно производиться после детального обследования местности.

13. Строительство мостов и переходов должно осуществляться только в местах с устойчивым руслом (Министерство транспорта РТ).

14. Берегоукрепительные работы вдоль берегов рек, разделяющих границы двух государств, должны производиться совместно, по договорённости.

15. При строительстве заградительных дамб у берегов рек или углублении русла соответствующие структуры, занимающиеся берегоукрепительными работами, должны сотрудничать со специалистами (учёными) в этой отрасли.

16. Параллельно строительству заградительных дамб, надо производить углубление русла в сезон межени, если этому позволяет угол наклона (перепад) продольного профиля реки.

17. Для предотвращения негативных воздействий и снижение риска затопления прибрежных зон на р. Пяндж (нижнее течение) предложено регулировать углы разветвления после бифуркации (на основе предложенной математической модели, которая основана на зависимости от угла распределения).

18. На основе приведённых фактов в главе 2, предложено считать истоком р. Пяндж не р. Памир или р. Вахандарья, а р. Бургутаи-Джилгаджелав, которая является истоками реки Вахандарья (Вахандарья - Базаи Гумбад - р. Бургутаи-Джилгаджелав) и Бартанг (Бартанг – Мургаб – Аксу - оз. Бешутек - оз. Чакматын - р. Бургутаи-Джилгаджелав).

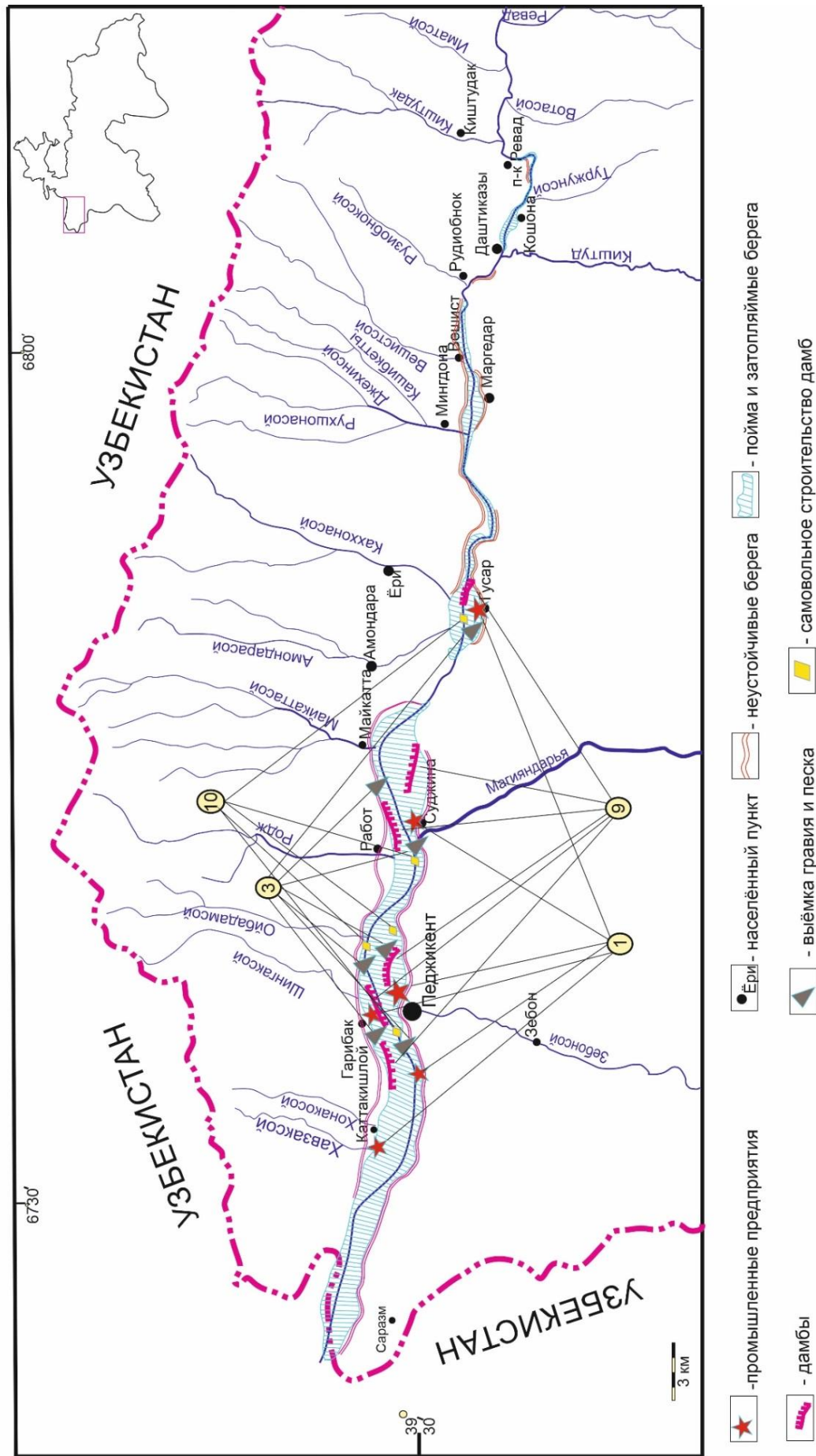
Применительно к исследуемым речным бассейнам, перечисленные мероприятия должны выглядеть следующим образом (приводим предложенные рекомендации в картах).

На рисунке 4.3. приводится карта русла р. Зеравшан на территории района Пенджикент, где условными знаками указаны некоторые пункты из перечисленных 18-ти алгоритмов действий по минимизации ущерба от естественных и антропогенных деформаций.

На этой карте указаны те объекты, которые попадают по пунктам алгоритма действий под номерами 1, 3, 9 и 10.



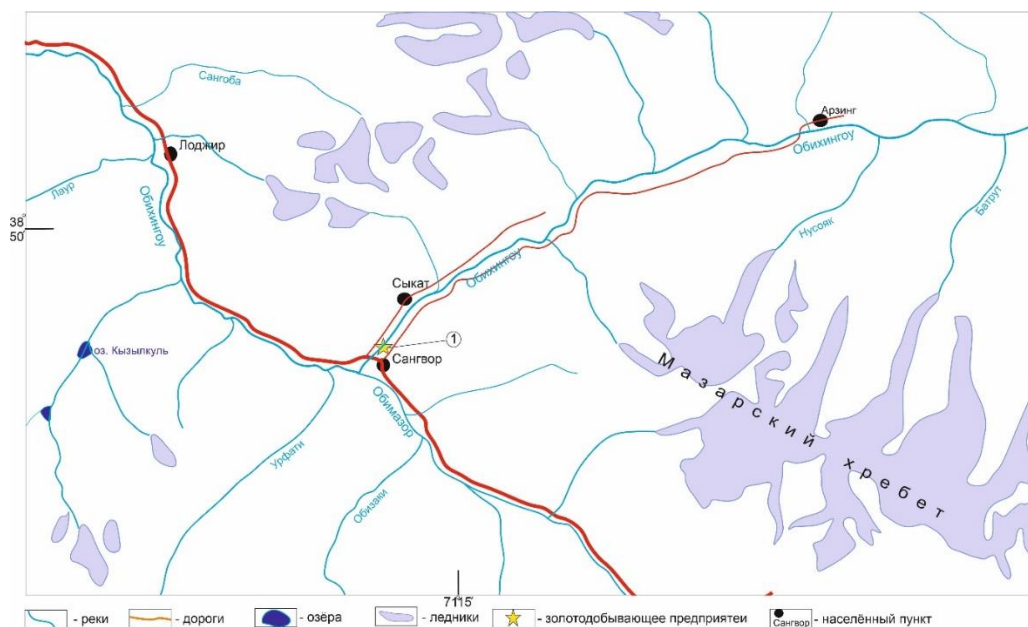
## Северо-западная часть бассейна реки Зеравшан с неустойчивым руслом



**Рисунок 4.3. - Расположение предлагаемых объектов на р. Зеравшан. (рисунок разработана автором)**



В Сангворском районе, на берегу р. Обихингоу действует всего одно предприятие (Кони Заринг) на котором добывают рассыпное золото (рисунок 4.4.), которое соответствуют пункту 1 из перечисленных 18-ти алгоритмов действий по минимизации ущерба от естественных и антропогенных деформаций.



**Рисунок 4.4. - Расположение золотопромывающего предприятия в Сангворском районе на р. Обихингоу (рисунок разработана автором)**

Промытые отходы сливаются обратно в р. Обихингоу, что способствует росту количества наносов в реке.

Для минимизации ущерба от естественных и антропогенных деформаций русла следует создавать для осаждения песка и гравия хвостохранилища (пункт 2).

Главное отличие р. Пяндж от вышеуказанных рек в том, что он разделяет границу двух государств. И горизонтальные русловые деформации могут повлиять на пограничные отношения соседних государств.

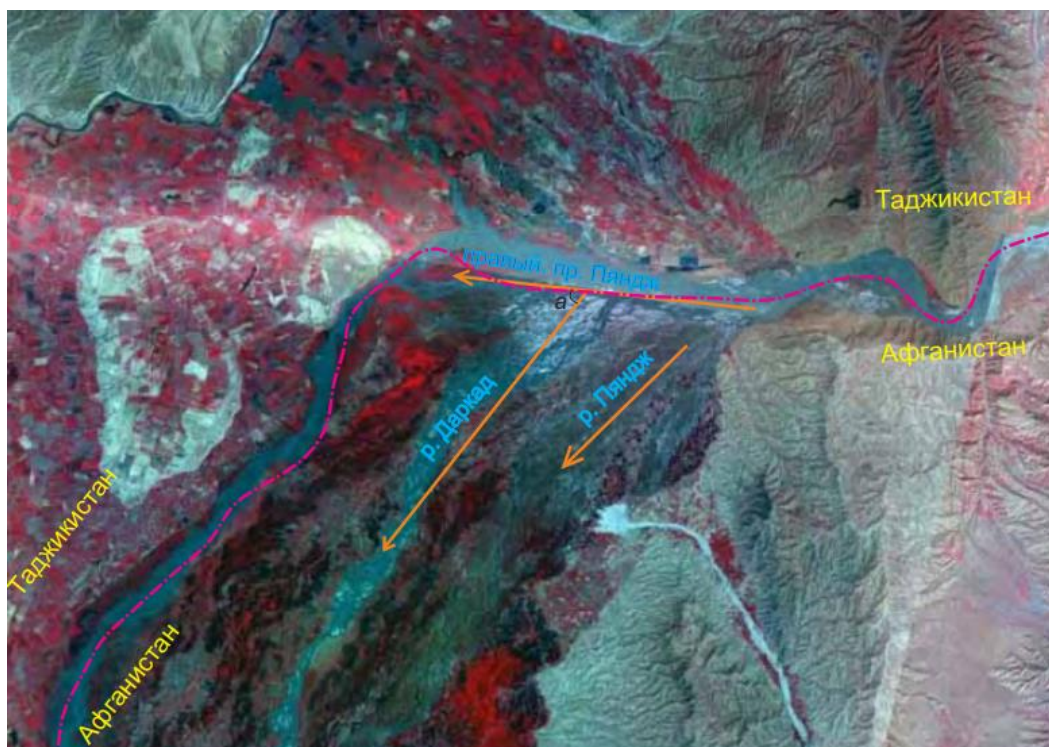
Также значительную горизонтальную деформацию мы наблюдаем в русле р. Пяндж на участке острова Даркад (районы М.С.А. Хамадони, Фархор и Пяндж). В последние годы для берегоукрепительных работ в этой зоне стороной Таджикистана расходуются значительные материальные средства. Но эти дамбы в некоторые годы, когда расход р. Пяндж велик, не

выдерживают напора воды и прорываются. В результате народному хозяйству республики наносится значительный ущерб.

Для предотвращения указанных последствий со стороны правительства РТ принимаются определённые меры, но их недостаточно.

Мы предлагаем параллельно со строительством водоградительных сооружений углубить существующее русло р. Пяндж. Для более результативного подхода в зависимости от потребляемой воды из р. Пяндж, в каждом из притоков мы предлагаем использовать предложенную нами математическую модель. Количество расходов воды в протоках зависит от углов разветвления у точек бифуркации.

На рисунке 4.5. приводится состояние р. Пяндж на участке острова Даркад в 2017 г., (стрелками указаны основные направления протоков после разветвления) из которого видно, что основная масса воды течёт по двум правым притокам.



**Рисунок 4.5. - Остров Даркад и направление протоков р. Пяндж**

(рисунок разработана автором на основе космоснимков Гугл)

До 2000-х годов основным притоком считалась сама р. Пяндж, которая текла по территории ИРА. Но в последние годы, после построения

водозаборной дамбы на территории ИРА, основной поток реки стекает по р. Даркад (средний проток в острове Даркад) и правым притоком р. Пяндж, который стекает по территории Таджикистана.

В подразделе 2.2 (на рисунке 2.2.) из диаграммы видно, что от истока до устья протоков на участке острова перепад составляет в среднем 100 м на 45 км. Из этого следует, что вполне возможно углубление каналов посреди острова (пункт 16 алгоритма действий по минимизации ущерба от естественных и антропогенных деформаций русел рек).

### **Выводы по четвёртой главе**

1. Установлено, что разработка песчано-гравийных карьеров у пойм рек может привести к изменению русел рек.

2. Ниже селения кишлака Дашти-Казы, в долине р. Зеравшан, где долина постепенно расширяется, русло р. Зеравшан теряет свою устойчивость по мере передвижения на запад.

3. В долине р. Обихингоу значительных горизонтальных деформаций не наблюдается, так как река протекает по глубоко врезанной долине.

4. Помимо природных факторов, на развитие горизонтальных деформаций на р. Пяндж оказывают влияния антропогенные вмешательства. Несогласованные берегоукрепительные работы привели к нарушению баланса распределения воды на протоках реки на данном участке.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Предложено детальное высотное распределение по площади и в процентном соотношении бассейнов р. Зеравшан, Обихингоу и Пяндж (на территории РТ), с помощью новейшей компьютерной программы ArcGIS.

2. Наряду с общими для любых типов русел гидродинамическими факторами руслоформирования, большую роль на горных реках центрального и южного Таджикистана играют геолого-геоморфологические строения, определяющие продольные уклоны, условия развития горизонтальных русловых деформаций, количество и крупность поступающего в реки крупнообломочного материала, а также существование скальных стеснённых участков рек. Особенностью рассматриваемых бассейнов рек является значительное влияние селевой, лавинной (в верховьях рек) активности, а также движение ледниковой (у истоков высокогорных рек) деятельности на морфологию русел, характеристики аллювия и русловые деформации [2-А, 5-А, 9-А, 10-А, 11-А, 12-А];

3. Продольные профили р. Зеравшан, Обихингоу и Пяндж в основном имеют почти прямолинейную форму. А продольные профили основных притоков этих рек имеют прямолинейные, ступенчатые, вогнутые формы. Особенности тенденции в изменении уклонов по длине рек нарушаются после схода селей и обвалов прибрежных скал и гор. Изучение русловых процессов в данных районах позволили выделить наиболее неустойчивые русла на р. Зеравшан и на р. Пяндж (нижнее течение), где сильно развита сельскохозяйственная деятельность [4-А, 5-А, 7-А];

4. По итогам проведённых исследований составлена карта наиболее неустойчивой части р. Зеравшан (на территории РТ). Карта может найти применение при инженерном и водохозяйственном проектировании в долине р. Зеравшан. Также указаны наиболее уязвимые места, подверженные

антропогенному воздействию и пути их преодоления и в некоторых других реках РТ [14-А];

5. Представлено количество проявлений фуркаций на территории РТ и приграничных с ним территориях с указаниями координат местоположения, высотного расположения и направления протоков и их оцифровки на картах [2-А, 13-А];

6. К существующим схематическим классификациям (ГГИ) предложена новая специфическая схема классификации русел рек: устойчивое русло с устойчивыми берегами, что характерно для рек Таджикистана. Кроме того, предложенная классификация может дополнить классификации Росгена и ГГИ.

7. Для предотвращения негативных воздействий и снижения риска затопления прибрежных зон на р. Пяндж (нижнее течение) предложено регулировать углы разветвления после бифуркации (на основе предложенной математической модели, которая создана в зависимости от углов распределения) [2-А, 15-А];

8. На основе приведённых фактов, предложено считать истоком р. Пяндж не р. Памир или р. Вахандарья, а р. Бургутаи-Джилгаджелав, которая является истоками реки Вахандарья (Вахандарья - Базаи Гумбад - р. Бургутаи-Джилгаджелав) и Бартанг (Бартанг – Мургаб – Аксу - оз. Бешутек - оз. Чакматын - р. Бургутаи-Джилгаджелав).

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Применить введённую дополнительную классификацию «устойчивое русло с устойчивыми препятствиями» к крупномасштабным топографическим и туристическим картам, как путеводитель при переходе русла горных рек.

2. Строительство заводов, фабрик, жилых домов, производственных объектов, сельскохозяйственных объектов и т.д. в прибрежных зонах рек должно согласовываться с соответствующими структурами (Агентством мелиорации и ирригации при Правительстве РТ, Управлением геологии при

Правительстве РТ, НАНТ, Комитетом по землеустройству и геодезии при Правительстве РТ и др.).

3. Состояние берегов рек на территории РТ, в частности, их устойчивости, должно быть закартировано.

4. Проводить линии границ с сопредельными государствами, разделяющимися реками, не по руслам рек, так как русло реки по всей линии границы неодинаково устойчиво.

5. Запретить самовольное строительство дамб и водозаборов вдоль рек (Комитет по охране окружающей среды при Правительстве РТ).

6. Выемка и обработка гравия и щебня из русловых и прирусловых карьеров должна проводиться под наблюдением специалистов (Агентство мелиорации и ирригации при Правительстве РТ, НАНТ, Комитет по охране окружающей среды при Правительстве РТ).

7. Берегоукрепительные работы вдоль берегов рек, разделяющих границы двух государств, должны осуществляться совместно, по договорённости.

8. Параллельно строительству заградительных дамб, надо производить углубление русел рек в сезон межени, если этому позволяет угол наклона (перепад) продольного профиля реки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахимов С.Я. Геоэкологические проблемы техногенеза на территории Северного Таджикистана. - Пермь: ПГУ, 2003. – 147 с.
2. Абдурахмони Мустанжир. Рузномаи сафари Искандаркул (Дневник Искандеркульской экспедиции). – Душанбе: Ирфон, 1989. -176 с.
3. Аброров Х. Горный Зеравшан (Зарафшони кӯҳӣ). – Душанбе: Ирфон, 1970. – 96 с.
4. Авакян А.Б., Герасимов Ю.В., Поддубный С.А. Актуальные проблемы обустройства водохранилищ. Гидротехническое строительство. – М.: 1999. - № 6. - с. 2-7.
5. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водоохранилища. - М.: Мысль, 1987. – 325 с.
6. Агаханянц О.Е. Основные проблемы физической географии Памира. - Душанбе: Изд-во АН ТаджССР, 1965. – 240 с.
7. Алтунин В.С., Аннаев С.А., Аширов С.А. Интенсивные русловые деформации р. Амударьи. - Ашхабад: Ёлим, 1975. – 175 с.
8. Алтунин С.Т. Регулирование русел. - М.: Сельхозиздат, 1962. – 352 с.
9. Ашуров С. Селевые паводки на реках юго-восточного склона Кураминского хребта (в пределах Таджикской ССР). Автореферат дисс. на соискание учен. степени канд. геогр. наук. –Баку: 1974. -30 с. (АН АзербССР.).
10. Бартольд В.В. Работы по исторической географии (перепеч. с изд. 1965 г.). – М.: Восточная литература, 2002. – 711 с.
11. Барышников Н.Б. и др. Влияние русловых деформаций на положение государственной. Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. –2013. – № 27. - С. 22-28.
12. Барышников Н.Б. Русловые процессы. - СПб.: РГГМУ, 2008. – 439 с.
13. Берг Л. Аральское море, опыт физико-географической монографии. – С.-Петербург: Типография М.М. Стасюлевича, 1908. – 582 с.

14. Беркович К.М., Сидорчук, А.Ю. - Сборник: Проблемы оценки экологической напряжённости Европейской территории России: факторы, районирование, последствия. - М., 1996. – С. 77-88.
15. Бирюков В.С. и др. Критерий устойчивости речных русел. Вестник МГСУ: 2011, - № 5. – с. 311-316.
16. Большаков М.Н. Водные ресурсы рек советского Тянь-Шаня и методы их расчёта. – Фрунзе: Изд. Илым, 1974. -305 с.
17. Большой Атлас истории и культуры Казахстана. - Алматы: АО «АБДИ Компани», 2008. - 880 с.
18. Ведомственные строительные нормы учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов) ВСН 163-83
19. Водогрецкий В.Е. Антропогенное изменение стока малых рек. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 176 с.
20. Вселенная и человечество. Под ред. Ганса Кремера. - С.-Петербург: Типолитография «Просвещение», 1896. – 567 с.
21. Гарелина С.А., Давлатшоев С.К., Латышенко К.П., Обиджони Ш.К., Курбонов Н.Б. Повышение безопасности гидротехнических сооружений. Часть 2. На примере водохранилища Нурекской ГЭС на реке Вахш. – Химки: АГЗ МЧС России, 2021. – 192 с.
22. Гидрогеология СССР. Таджикистан. – Т. ХLI. - М.: Недра, 1972. – 374 с.
23. Гидрохимический атлас СССР. - М.: ГУГК, 1990. – 111 с.
24. Гладков Г.Л., Чалов Р.С., Беркович К.М. Гидроморфология русел судоходных рек. – С.-Петербург: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2016. – 431 с.
25. Глуховский А.И. Пропуск вод р. Амударьи по старому ее руслу в Каспийское море. - С.-Петербург: Типография М.М. Стасюлевича, 1893. – 144 с.



26. Головатый А.И. Поверхностный сток и смыв почвы в Центральном Таджикистане. - В кн.: Достижения лесной науки в Средней Азии. Ташкент, 1976, с. 68-73.
27. Гопченко Е.Д., Кузьмин В.Ф. Максимальный сток селеопасных рек Таджикистана. Метеорология, климатология и гидрология. Республиканский межведомственный научный сборник. Вып.18. – Киев: Вища школа, 1982, - с.117-121.
28. Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Общая геология. - М.: Изд-во МГУ, 1973. – 589 с.
29. Гостунский А.Н. Гидрология Средней Азии. - Ташкент; Уктувчи, 1969. – 326 с.
30. Григоьев В.Н. Река Обихингоу. Водные маршруты СССР. Азиатская часть. - М.: Физкультура и спорт, 1976. – с. 55-56.
31. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 427 с.
32. Докучаев В.В. Овраги и их значение. Тр. Вольномского экономического общества. –Волномск: 1877, Т.3. -Вып. 2. Отд. с.х. – с.167-178.
33. Доманицкий А.П., Дубровина Р.Г., Исаева А.И. Реки и озёра Советского Союза: Справочные данные. - Л.: Изд-во Гидромет, 1971. – 106 с.
34. Европейская экономическая комиссия. Совещание сторон конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. - Четвертое совещание. - Бонн (Германия), 20-22 ноября 2006 года. Предварительная оценка состояния трансграничных рек в бассейне Аральского моря и их основных трансграничных притоков. – 19 с.
35. Забиров Р.Д. Оледенения Памира. - М.: Изд-во Географическая литература, 1955. – 371 с.
36. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. -Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 266 с.

37. Карасев М.С., Гарцман Б.И. О принципах регионального анализа русловых процессов малых и средних рек и их антропогенной динамики. Геоморфология, 2002, - № 2. - с. 10-16.

38. Каримов А.А. Инженерно-геономическая оценка георисков, связанных с селевой опасностью в бассейне реки Зеравшан (Центральный Таджикистан): дис. канд. геол.-мин. Наук. – Душанбе: 2020, - 175 с.

39. Каталог ледников СССР. - Том 14. Средняя Азия. – Вып. 3. Амударья. – Часть 9. Бассейн реки Обихингоу. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. - 110 с.

40. Кеммерих А.О. Гидрография Памира и Памиро-Алая. - М.: Мысль, 1987. – 263 с.

41. Комилов О.К. Характерные особенности руслоформирования в различных инженерно-геологических образованиях горных пород / О.К. Комилов // Международная НПК «Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии и разработка месторождений полезных ископаемых Таджикистана и сопредельных территорий», посвящённая 80-летию заслуженного работника Таджикистана, д.т.н., профессора, академика Инженерной академии РТ О.К. Комилова. – Душанбе, 2022. - с. 52-58.

42. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 272 с.

43. Кондратьев Н.Е. и др. Русловой процесс. - Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 372 с.

44. Курбонов А.К., Мухаббатов Х.М. Таджикистан – основной источник пресной воды Центральной Азии. - Душанбе: Изд-во Мир Полиграфии, 2003. – 83 с.

45. Курбонов Н.Б., Фруммин Г.Т. Влияние изменения климата на условия формирования и химический состав водных ресурсов бассейна реки Зеравшан. – Германия: Lambert Academic Publishing, 2021. – 145 с.

46. Курбонов Н.Б. Динамика изменения метеорологических условий и их влияние на водные ресурсы бассейна реки Зерафшан. Дисс. к.т.н. – Душанбе: 2019. – 156 с.
47. Лазаревич К.С. А вытекает всего одна. География. 2001, - №46. – с. 32-33.
48. Лапшенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 237 с.
49. Липский В.И. Горная Бухара. Результаты трёхлетних путешествий в Среднюю Азию в 1896, 1897 и 1898 гг. - Часть 1. Гиссарская экспедиция в 1896 г. - С.-Петербург: Типо-Литография Герольда, 1902. – 316 с.
50. Логинов Г.И. Гидравлические процессы при водозаборе из малых горных рек. - Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. – 196 с.
51. Лохтин, В.М. О механизме речного русла. Вопросы гидротехники свободных рек. - М.: Речиздат, 1948. - с. 23-59.
52. Львович М.И. Реки СССР. -М.: Мысль, 1971. –351 с.
53. Макаревич А.А., Яротов А.Е. Речной сток и русловые процессы. - Минск: БГУ, 2019. – 115 с.
54. Марко Поло. Путешествие. - Л.: Художественная литература 1940. – 314 с.
55. Мирзохонова С.О. Влияние изменения климата на гидрологический режим бассейна реки Пяндж. – Душанбе, LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2021. – 130 с.
56. Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология: Учебник для вузов. - Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 752 с.
57. Муртазаев У.И. Водохранилища Таджикистана и их влияние на прилегающие ландшафты. – Душанбе: Ирфон, 2005. – 304 с.
58. Муртазаев У.И., Бобиев Д.Ф. Преобразование речных систем Таджикистана в условиях изменяющегося климата (географические аспекты). - Душанбе: Ирфон, 2018. – 267 с.

59. Мухаббатов Х.М. Проблемы природопользования в горных регионах Таджикистана. - Душанбе: Дониш, 2015. – 565 с.
60. Насыров М.А. Некоторые черты оледенения бассейна р. Зеравшан. Известия Узб. ГО, 1970, т. 12, -с. 56-68.
61. Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистана на период до 2030 года. – Душанбе: 2019, №482. - 77 с.
62. Национальный план действий Республики Таджикистан по смягчению последствий изменения климата. –Душанбе: Таджикглавгидромед, 2003. -264 с.
63. Ниёзов А.С. О бифуркации реки Бургутайи-Джилгаджелав в верховье Амударьи. Наука и инновация. – Душанбе: Изд-во ТНУ, 2018. – с. 289-293.
64. Никитин А.М. Морфометрия и морфология озёр Средней Азии. Труды САРНИГМИН. - 1977. - Вып. 50 (131). - С. 4-21.
65. Никонов А.А. Определение скорости врезания рек. Геоморфология. 1973, № 1. - с. 24-35.
66. Околова В.Ф. Основные методические проблемы инженерной климатологии горных стран. СПб. Инженерная география горных стран. Под ред. С.М.Мягкова. -М.: Изд-во МГУ, 1984. – с. 30-48.
67. Отчёт гидрометрической части за 1912 г. - С.-Петербург: Типография Министерства путей сообщения. Вып. 16, том 2, 1913. – 107 с.
68. Рахими Ф. и др. Вода, наука и устойчивое развитие (Об, илм ва рушди устувор). – Душанбе: Дониш, 2018. – 431 с.
69. Рахимов А.И. Научные основы рационального использования и охраны водных ресурсов Таджикистана: дис. на соис. д.геол.н. – Бишкек: 2016. – 287 с.
70. Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог ледников СССР. - Том 14. Средняя Азия. - Вып 3. Амударья. - Части 1, 2. Бассейн реки Зеравшана. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 122 с.

71. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 263 с.
72. Русловой процесс. Под редакцией Н.Е. Кондратьева. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 371 с.
73. Саидов М.С., Пильгуй Ю.Н., Комилов О.К., Давлатшоева Л.В., Шокиржанова Г.Н. Наводнения в Хамадони: причины, последствия и прогноз. Издание Научно-исследовательского центра Агентства «Точиккоинот». Душанбе, 2006, - 38 с.
74. Сапожников Г., Мухаббатов Х. Заказники Таджикистана. - Душанбе: Ирфон, 1989. – 159 с.
75. Сафаров М.С. Опасные гидрологические процессы в условиях изменения климата и дистанционные методы их мониторинга (на примере горно-предгорной зоны Таджикистана): дис. на соиск. к.т.н. – Душанбе, 2021. – 179 с.
76. Сладкопечев С.А. Новейший этап развития речных долин. - М.: Недра, 1977. – 200 с.
77. Соколов А.А. Гидрография СССР (воды суши). - Л.: Изд-во Гидрометеиздат, 1964. – 536 с.
78. Соколов Д.П. Зеравшанский ледник (Опыт гидрологической характеристики). Автореф. дисс. на соиск. к.геогр.н. – Л.: 1964. – 22 с.
79. Станюкович К.В. и др. Природные ландшафты Таджикской ССР. - Душанбе: Дониш, 1991. – 194 с.
80. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы: Аналитический обзор. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. Серия, Экология, Вып. №64, 2002. - 114 с.
81. Фазылов А.Р., Фазылов В.А. Гидротехнические мероприятия и регулирование селей в условиях изменения климата. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017, Вып. № 2 (24.1), ч.1. – с. 105-112.

82. Фазылов А.Р., Кодиров А.С., Степанова Н.Н. Исследование роли твёрдого стока в зоне формирования реки Вахш. Доклады АН Республики Таджикистан. 2014, Т. 57, - № 3. - с. 240-245.

83. Фозилов Дж.Н. Геолого-геоморфологические особенности бассейна р. Обихингоу. Международная НПК «Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии и разработка месторождений полезных ископаемых Таджикистана и сопредельных территорий», посвящённая 80-летию заслуженного работника Таджикистана, д.т.н., профессора, академика Инженерной академии РТ О.К. Комилова. – Душанбе: 2022. – с. 27-32.

84. Фруда число: Физический энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1983. –с. 944.

85. Хакимов С.К. Русловые процессы на реках Западного Тянь-Шаня: дис. на к.геогр.н. - М., 1992. - 165 с.

86. Хоналиев Н., Мухаббатов Х. Памир: история, природа и перспективы социально-экономического развития. - Душанбе: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2019. – 326 с.

87. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1948. - 158 с.

88. Цинзерлинг В.В. Орошение на Амударье. - М.: Изд-во Управления водного хозяйства Средней Азии, 1927, ч.1. – 222 с.

89. Чайковский А.П. Далёкое прошлое Туркестана. - С.-Петербург: Изд-во Типографии Суворина, 1896. – 406 с.

90. Чалов Р.С. Генетическая составляющая типизации речных русел. Геоморфология. 2020, - № 2. - с. 3-20.

91. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов / Р.С. Чалов. - М.: Изд-во МГУ, 1979. – 232 с.

92. Чалов Р.С., Чалова Е.Р. География русел рек, разветвлённых на рукава, на территории России. РГО. 2019, Т. 151, Вып. 6. – с. 20-34.

93. Чалов Р.С., Камышева А.А. Морфодинамика и гидроморфология речных русел как разделы учения о русловых процессах. Известия РАН. Серия географическая. - 2020. Т.84, № 6. - с. 844-854.
94. Чалов Р.С. О классификации горных рек. Геоморфология. 1980, №1. - с. 3-16.
95. Чалов Р.С., Чалова А.С., Голубцов Г.Б. О терминологии и классификации разветвлений русел равнинных рек. Геоморфология. 2021, Т. 52, №3. - с. 48-63.
96. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. - Т.1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. - М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 608 с.
97. Чалов Р.С. Русловые процессы (русловедение): Учебное пособие. - М.: ИНФРА-М, 2016. - 565 с.
98. Чалов Р.С. Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел. Геоморфология. 1996, №1. - С. 25-36.
99. Шарабаев В.А. Оценка степени селеопасности на примере бассейна р.Варзоб. – В сб.: Материалы Научно-технического совещания по вопросам методики изучения и прогноза селей, обвалов и оползней (тезисы докладов). Душанбе: 1970, - с.148-151.
100. Шарабаев В.А., Ашуров С. Обуздание селевых потоков. Душанбе: Ирфон, 1972. - 67 с.
101. Шеко А.И., Максимов М.М., Лехатинов А.М. Инженерногеологическое обследование территории Таджикской ССР в связи с массовым проявлением оползней, селей и других экзогенных геологических процессов. – В сб.: Оползни и сели. В двух томах. -М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1984, Том 2, - с.47-51.
102. Шульц В.Л. Некоторые итоги и пути развития способов расчета стока в условиях горных стран. Труды: Водный баланс территории Средней Азии. - Выпуск 62(77). – с. 5-8.

103. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Записки Всесоюзного географического общества. Т.8. - М.: Государственное изд-во географической литературы, 1949. – 194 с.
104. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. - Части 1, 2. - Л.: Гидрометеоздат, 1965. – 691 с.
105. Щеглова О.П. Питание рек Средней Азии. - Ташкент: изд-во СамГУ, 1960. - 244 с.
106. Щеглова О.П. Формирование стока взвешенных наносов и смыв с горной части Средней Азии. – Труды САНИГМИ, Ташкент: 1972, вып. 60(75).
107. Эрозионные процессы / Под ред. Н.И. Маккавеева и Р.С. Чалова. - М.: Мысль, 1984. – 256 с.
108. Яблоков А.А. Ледяной поток. Журнал «Метеорология и гидрология», 1975, №7, - с.106-107.
109. Якутилов М.Р. Эрозионно-селевые процессы в Таджикской ССР и меры борьбы с ними. – В сб. Борьба с горной эрозией почв и селевыми потоками СССР. -Ташкент: 1962. -с. 96-101.
110. Якутилов М.Р., Касымов А.К. Эрозионно-селевые процессы на осваиваемых сельскохозяйственных землях в Таджикистане и мероприятия по защите от них. - XV Всесоюзная научно-техническая конференция по противоселевым мероприятиям. - Ташкент: Тезисы докладов. Вып.3. М., ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1978, - с.129-133.
111. Японское Агентство Международного Сотрудничества, Комитет по ЧС и ГО при Правительстве РТ. Изучение предотвращения стихийных бедствий на реке Пяндж. -Душанбе: 2007, СТИ ENGINEERING INTERNATIONAL CO., LTD. Том 2. – 104 с.
112. Bolla P.M., Repetto R., Tubino M. Channel bifurcation in braided rivers: Equilibrium configurations and stability. J. Water Resour. Res.. – 2003, - № 39(3). – P. 1046. Doi: 10.1029/2001WR001112.



113. Hsu C.C., Tang C.J., Lee W.J., Shieh M.Y. Subcritical 90° Equal-Width Open-Channel Dividing Flow. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2002. - v. 128. - № 7. - pp. 716-720.
114. Iskandar S.M., Hazleen A., Badrul A. Mathematical Modeling for Flood Mitigation: Effect of Bifurcation Angles in River Flowrates. *Civil Engineering and Architecture*. - 2019. - v. 7(6A). - pp. 50-57.
115. Kesserwani G., et al. New Approach for Predicting Flow Bifurcation at Right-Angled Open-Channel Junction. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2010. - ASCE. - pp. 662-668.
116. Le T.B., et al. On the stability of river bifurcations created by longitudinal training walls. Numerical investigation. 2018. v. 113. – pp. 112-125.
117. Law S.W. Dividing Flow in Open Channel, Master Thesis / S.W. Law. - McGill University, Montreal, 1965.
118. Manning R. On the flow of water in open channels and pipes Law S.W. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers of Ireland*. 1890. - № 20. - pp. 161-206.
119. Michele B.P., et al. A unified framework for stability of channel bifurcations in gravel and sand fluvial. *Geophysical Research Letters*. 2015. – pp. 7521-7536.
120. Mirbagheri S.A., Abaspour M., Zamani K.H. Mathematical Modeling of Water Quality in River Systems. Case Study: Jajrood River in Tehran – Iran. *European Water*. -2009. - v. 27/28. - pp. 31-41.
121. Obasi N.L., Agunwamba J.C., Egbuniwe N. Influence of Off-Take Angles on Flow Distribution Pattern at Concave Channel Bifurcation. *Nigerian Journal of Technology*. 2008. - v. 27. -№ 2. - pp. 46-57.
122. Pandey A., Mishra R. Comparison of Flow Characteristics at Rectangular and Trapezoidal Channel Junctions. *Journal of Physics Conference Series*. 2012. - v. 364. - pp. 1-11.

123. Ramamurthy A.S., Tran D.M., Carballada L.B. Dividing Flow in Open Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. – ASCE. 1990. - v. 116. - №. 3. - pp. 449-455.
124. Rashwan I.M.H. Dynamic Model for Subcritical Dividing Flows in Open Channel Junction. *Eight International Water Technology Conference, 2004*. - pp. 511-520.
125. Rosgen D.L. A classification of natural rivers / D.L. Rosgen // *Catena*. - 1994. - Vol. 22. - P. 169-199.
126. Schreve R.L. Variation of main stream length with basin area in river network / R.L. Schreve // *Water Res. Res.* - 1974. - Vol. 10. - № 6. - P. 1167-1177.
127. Strhaler A.N. Hypsometria (area-altitude) analysis of erosional topography / A.N. Strhaler // *Geol. Soc. Amer. Bull.* - 1952. - Vol. 63. - P. 1167-1177.
128. Tholibon D.A. Bifurcation Simulation Modeling Review / D.A. Tholibon, J. Ariffin // *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*. - 2013. - Vol. 8. - № 1. - P. 45-50.
129. Walter Bertoldi. *River Bifurcations* / Febbraio. - 2005. - 140 p. ISBN: 88-8443-085-2.
130. Yang Y. Application of Advection-Diffusion Routing Model to Flood Wave Propagation: A Case Study on Big Piney River, Missouri USA / Y. Yang, T.A. Endreny, D.J. Nowak // *Journal of Earth Science*. - 2016. - Vol. 27. - №. 1. - P. 9-14.
131. Zahiri A. Flow Discharge Determination in Straight Compound Channels using Anns / A. Zahiri, A.A. Dehghani // *World Academy of Science, Engineering and Technology*. - 2009. - Vol. 58. - P. 12-15.

## Список публикаций соискателя учёной степени

### А) В рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики

#### Таджикистан:

[1-А]. Маджидов О.Ш. Доир ба баъзе истилоҳоти қадимаи гидрографӣ (О некоторых древних гидрографических терминах) / О.Ш. Маджидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. гуманитарных наук. - 2021. - №1 (013). - С. 106-110.

[2-А]. Маджидов О.Ш. О русловых процессах на реке Пяндж и их последствиях / О.Ш. Маджидов // Доклады НАН Таджикистана. – 2021. - № 2-21. - С. 111-115.

[3-А]. Маджидов О.Ш. Современное состояние гидрографии озёр бассейна реки Киштуд (Центральный Таджикистан) / О.Ш. Маджидов, М.А. Ниёзова // Известия НАН Таджикистана. Отд. естественных наук. 2022. - Т. 65. - № 1-2. - С. 119-128.

#### Б) В других изданиях:

[4-А]. Маджидов О.Ш. О состоянии экологической безопасности высокогорных озёр центрального Таджикистана (On the status of environmental safety of high-mountain lakes of central Tajikistan). Материалы 3-го международного семинара «Экологическая безопасность вдоль шёлкового пути». Боз-Бешике, Иссык-Куль, Киргизстан, 2017

[5-А]. Мачидов О.Ш. Хусусиятҳои гидрографияи қисмати ғарбии дарёи Зарафшон (Гидрографические особенности западной части реки Зеравшан) / О.Ш. Мачидов // Наука и инновация («Илм ва инноватсия»). – 2018. - № 3. – С. 102-106.

[6-А]. Ниёзов А.С. Таджикская лимнология: современное состояние и проблемы / А.С. Ниёзов, **О.Ш. Маджидов**, М.А. Ниёзова // НПК «Таджикистан – передовая страна в решении глобальных водных проблем». - Душанбе, 2018. - С. 159-163.

[7-А]. Муҳаббатов Х. Таҳаввули захираҳои оби Тоҷикистон ва масъалаҳои истифодаи самаранокии онҳо (Развитие водных ресурсов Таджикистана и вопросы их эффективного использования) / Х. Муҳаббатов, **О.Ш. Маджидов**, М.А. Ниёзова // Наука и инновация. - 2019. - № 2. - С. 159-163.

[8-А]. Муҳаббатов Х. Кӯлҳои Тоҷикистон ҳамчун муҳити хивзи гуногунии биологӣ (Озера Таджикистана как среда биологического разнообразия) / Х. Муҳаббатов, **О.Ш. Маджидов**, М. Ниёзова, Ф.А. Рахмонова // НПК 3-юми байналмилалӣ «Хусусиятҳои гуногунии экологии биологӣ». - Душанбе, 2019. - С. 237-238.

[9-А]. Маджидов О.Ш. О динамике озёр бассейна р. Зеравшан (Центральный Таджикистан) // Международная НПК «Вопросы социально-экономического и инновационного развития территорий, рационального природопользования и туризма в современных географических исследованиях». - Ч.1. - Нукус, 2021. - С. 223-227.

[10-А]. Маджидов О.Ш. Куда впадала река Амударья. Палеогеографическое исследование / О.Ш. Маджидов // Центральноазиатский журнал географических исследований. Международный научный журнал. – Ташкент, 2021. - № 3-4. - С. 45-54.

[11-А]. Ниёзов А.С. О георисковом потенциале средней части бассейна реки Вахш / А.С. Ниёзов, **О.Ш. Маджидов**, Т. Рахматова, Ш.А. Самиев // Международный онлайн-симпозиум «Природно-ресурсный потенциал устойчивого роста Таджикистана в условиях современных вызовов», посвящённый 175-летию Русского географического общества и 150 -летию его исследований на территории Таджикистана. - Душанбе: Дониш, 2021. - С. 40-54.

[12-А]. Маджидов О.Ш. Кӯлҳои наздипиряхии Тоҷикистони Марказӣ ва баъзе омилҳои тағирёбии онҳо (Приледниковые озера Центрального Таджикистана и некоторые факторы их изменения) / О.Ш. Маджидов, М.А. Ниёзова // Международная НПК «Проблемы инженерной геологии,

гидрогеологии, гидрологии и разработки месторождений полезных ископаемых Таджикистана и сопредельных территорий», посвящённая 80-летию со дня рождения заслуженного работника Таджикистана, доктора технических наук, профессора, академика Инженерной академии РТ, О.К. Комилова. - Душанбе, 2022. - С. 320-324.

[13-А]. Маджидов О.Ш. Бифуркация на реках Памира (Bifurcation of the Pamir rivers) / О.Ш. Маджидов // Международный научно-практический журнал Endless Light in Science. 2022. - № 7. - С. 159-168.

[14-А]. Маджидов О.Ш. Оценка антропогенных воздействий на русловые процессы / О.Ш. Маджидов // Республиканская НПК «Экологические проблемы природных зон Таджикистана», в рамках научных мероприятий, посвященная дню экологического образования, «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук», Международному десятилетию «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 гг.» и 80-летию доктора биологических наук, проф. Эргашева Абдуллоджона. - Душанбе, 2022. - С. 202-207.

[15-А]. Маджидов О.Ш. К явлениям бифуркации в реках Таджикистана / О.Ш. Маджидов // Международная НПК «Роль физики в развитии науки, просвещения и инновации», посвящённая «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» и 80-летию памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, члена-корреспондента НАНТ, доктора физико-технических наук, профессора Т.Б. Бобоева. - Душанбе, 2022. – С. 115-119.