



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Особенности прогнозирования
зон затопления на горных
и полугорных реках (на примере
р.Самур)**

Исполнитель Поливач Марина Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель *Гайдук* К.Т.Н.
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

Хаустов

* (подпись)

К.Т.Н.

(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

« 06 » 06 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

	Стр.
Ведение	3
1 Подходы определения зон затопления и подтопления	5
1.1 Нормативная документация	9
1.2 Гидрологические расчеты	11
1.3 Гидрологическое моделирование	16
2 Формирование базы данных для исследования	18
2.1 Выбор и описание объекта исследования	18
2.2 Гидрометеорологическая информация	19
2.3 Данные рельефа	28
2.4 Сведения об опасных гидрометеорологических явлениях	30
2.5 Ледники	33
2.6 Разбивка водотока на участки	35
3 Подходы прогнозирования зон затопления и подтопления	41
3.1 Методы прогноза уровней (расходов) воды на горных и полугорных реках	41
3.2 Сравнительный анализ методов	45
3.3 Конечное определение времени добегания и прогнозирование соответственных уровней	54
4 Определение границ зон затопления и подтопления на р. Самур	63
Заключение	68
Список используемых источников	69
Приложение А –	73
Приложение Б –	74

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что реки в период паводков и половодья представляют потенциальную опасность населённым пунктам и объектам экономики. Реки в горах – бурные, стремительные. Скорость течения 1–2 м/с, на перекатах до 2,5 м/с. В паводки скорость возрастает до 3–6 м/с. Паводки могут превышать среднегодовой расход от 20 до 100 раз. Подъём уровня воды в реках во время паводков может превышать 5–6 м и иметь достаточно большую площадь разлива, что объясняет актуальность выбранной тематики.

Реки горных районов страдают от наводнений, также, как и большинство других рек России и мира в целом. Различается характер, частота, степень затопления и наносимый ущерб, но это не делает горные районы менее важными для изучения в гидрологическом плане.

Конечно, исследования для прикладных задач весьма затруднительны в связи со спецификой данных районов, но этот вопрос можно рассматривать как призыв к более детальному изучению и апробации новых методов – будь то гидрологическое моделирование или работа со спутниковыми снимками. Зачастую, нет возможности предотвратить наводнения, но необходимо их предупреждать и продолжать разрабатывать комплексные меры по защите как территорий, так и населения.

Кроме того, ниже по течению рассматриваемого участка находится дельта Самура с уникальным реликтовым лесом и большим разнообразием флоры и фауны, в числе которых более 50 видов занесено в Красную книгу [1].

В связи с вышеизложенной целью исследования является рассмотрение особенностей прогнозирования зон затопления для горных и полугорных рек на примере реки Самур. В настоящее время исследовательских работ по изучению разлива горных рек, довольно скудное количество.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

а) изучить имеющиеся подходы к определению зон затоплений и нормативную документацию;

б) детально рассмотреть особенности выбранного района и определить генезис данного гидрологического процесса;

в) выбрать методики для апробации расчетных уровней;

г) попробовать применить к полученным результатам гидрологическое моделирование по средствам ГИС.

1 Подходы определения зон затопления и подтопления

Зоны затопления и подтопления – отнесены к зонам с особым условием использования территорий, пунктом 17 ст. 105 Земельного кодекса РФ. Также, эти зоны отображаются на всех видах документации, разрабатываемой при планировании развития территории. Соответственно задача об определении зон затопления, является важной, ведь критическое повышение уровней воды может приводить не только к имущественным потерям, но и человеческим жертвам.

Обращаясь к гидрологическому словарю, можно найти классификацию затоплений по их продолжительности: долговременное затопление (невозможно или нецелесообразно хозяйственное использование земельных участков) и временное затопление (использование земельных участков доступно и целесообразно, например, при лиманном орошении) [2].

Следует отличать затопление от подтопления. Под подтоплением понимается подъем грунтовых вод из-под земли. Затопление же происходит как бы «сверху» т.е. за счёт выпадения осадков или разлива водоёмов. Если же говорить о принятой терминологии на государственном уровне, то различается: зона возможного затопления – территория, которая может быть покрыта водой в период половодья, паводков, а также в результате повреждения или разрушения гидротехнических сооружений. И зона возможного катастрофического затопления – зона возможного затопления, в которой ожидается или вероятна гибель людей, повреждение или уничтожение имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества [3].

По данным учёных, в России периодическому затоплению подвержена территория в 500 000 км², при этом ежегодно затопливается 50 000 км² – это десятки тысяч населенных пунктов [4]. А среднегодовой ущерб от наводнений

в России, по ценам 2001 г., оценивался порядком около 40 млрд. руб., очевидно, сейчас эта сумма выросла в несколько сотен раз.

По исходным причинам наводнения делятся на нагонные, ливневые (дождевые), половодья (связаны с таянием снега и ледников), зажорные и заторные, завальные и прорывные.

Для горных районов характерными являются катастрофические завальные наводнения, прорывные и транзитные паводки вызваны завалами рек и их прорывами. Это хорошо известные и широко распространенные природные явления в горах. [5]

Завальные и прорывные наводнения менее регулярны, чем наводнения предшествующих типов. Они бывают в основном в горных районах и связаны с оползнями и обвалами (преимущественно сейсмогенными) и подвижками ледников. Встречается также прорыв искусственных плотин.

С 1910 г. такие события в мире случаются в среднем 10–15 раз в год (в том числе разрушения крупных плотин – раз в 2–3 года). В 1987 г. в Таджикистане, например, была прорвана плотина Саргазонского водохранилища.

Из последствий завалов в бывшем СССР наиболее известно Сарезское озеро глубиной до 500 м, возникшее на р. Мургаб на Памире вследствие землетрясения 1911 г. В США сходное озеро образовалось сейсмогенным оползнем в каньоне р. Мэдисон (штат Монтана) в 1959 г., но было искусственно спущено. С образованием подпрудного озера на Армянском нагорье, в верховьях бассейна р. Тигр, связана та часть легенды о всемирном потопе, которая говорит о Ноевом ковчеге у горы Арарат.

Более или менее регулярные подвижки ледников возможны во всех ледниковых районах мира. Около 5 % горных ледников относятся к пульсирующим (с интервалом в годы – десятилетия). При подвижке они перекрывают водотоки и обеспечивают накопление временных, раньше или позже прорывающихся озер. Длительно существующие приледниковые озера также могут прорываться, если они подпружены рыхлым льдосодержащим

моренным валом. Волны прорыва проходят вниз по долинам, принимая часто характер селей. Паводки такого рода случаются в горных долинах в среднем не реже одного раза в 10–20 лет, а по каждому горному району в целом один раз в 2–5 лет.

В Гималаях за последние 200 лет отмечено 35 катастрофических прорывных паводков. [6]

Факт усиления наводнений подтверждается тем, что в 80-е годы по всему миру ливневые наводнения и паводки снеготаяния во многих районах побивали рекорды за 100 лет или за время наблюдений, а по расчетам некоторые из них отвечали повторяемости один раз в 300–400 лет (ливневые наводнения в Новой Зеландии, Великобритании, Португалии, упоминавшийся выше паводок снеготаяния в Башкирии). Некоторые специалисты связывают эту тенденцию с начавшимся антропогенным изменением климата. Но несомненными можно считать местные причины: антропогенные изменения геометрии русел рек, поверхностного стока в речных бассейнах, зимнего температурного режима водотоков, а также локального поля осадков и снеготаяния. Очевиден фактор роста числа искусственных водохранилищ и прорывных паводков.

Изменение русел рек, увеличивающее высоту наводнений, происходит путем их непреднамеренного антропогенного заиления и обмеления, а также при неправильных русловыправительных работах (чрезмерное сужение и спрямление). Изменение условий поверхностного стока происходит при осушении болот, сведении лесов, распашке, а в городах – при создании больших водонепроницаемых поверхностей. При осушении болот максимальный поверхностный сток возрастает в 1,5–2,5 раза; при сведении лесов и распашке – в 2–4 раза, а на малых водосборах – еще больше, что и способствует заилению, прежде всего, малых рек.

Увеличение площади водоупорных покрытий в городах ведет к такому же росту расхода ливневых паводков и к еще большему сокращению времени

«добегания» паводковой волны, что резко увеличивает максимальные расходы.

Температурный режим рек умеренного более холодных поясов меняется при создании водохранилищ: у выхода реки из водохранилища зимой постоянно поддерживается полынья, что резко увеличивает повторяемость зажоров, а в некоторых случаях – и высоту зазорных уровней в сравнении с естественными. На верхнем бьефе водохранилищ происходит увеличение зазорности и заторности, а местами повышение уровня заторного поднятия над прежним максимальным уровнем весеннего паводка.

Прорывные наводнения связаны, прежде всего, с пульсирующими ледниками и прорывом приледниковых озер, а также с авариями на гидротехнических сооружениях. Паводки такого рода случаются в горных долинах не реже 1 раза в 10–20 лет, а по каждому горному району в целом – один раз в 2–5 лет.

Водоток при пересечении возвышенностей или горных хребтов после выхода на предгорье или полностью бесприточны, или приток к ним не совпадает по времени с максимумом стока, формирующимся в верхней части основного бассейна. В обоих этих случаях водотоки по выходе на предгорный участок являются, как правило, транзитными.

Прохождение паводка по транзитным участкам водотоков обуславливает распластывание паводочной волны, заключающееся в увеличении продолжительности прохождения паводка при относительно постоянном объеме стока, что вызывает уменьшение максимального расхода воды.

Методы расчета максимальных расходов воды рек весеннего половодья применяют для рек с площадями водосборов от элементарно малых (менее 1 км²) до 20000 км² для европейской части России и до 50000 км² – для азиатской части, за исключением транзитных участков рек, где происходит сильное распластывание волны половодья, вызывающее снижение максимальных расходов воды.

Таким образом, определение зон затопления характерно только для территорий, которые прилегают к: незарегулированным водотокам, затапливаемых при половодьях, паводках 1, 5, 10, 50 % обеспеченности, а также при заторах/зажорах; устьевым участкам водотоков, затапливаемых при нагонных явлениях; естественным водоемам, затапливаемых при уровнях воды 1, 5, 10, 50 % обеспеченности; водохранилищам, затапливаемых при уровнях воды при ФПУ; зарегулированным водотокам в нижних бьефах гидроузлов, затапливаемых при пропуске паводков расчетной обеспеченности.

1.1 Нормативная документация

В соответствии с ГОСТ 22.0.03-97: затопление – покрытие территории водой в период половодья или паводков. Подтопление – повышение уровня грунтовых вод, нарушающее нормальное использование территории, строительство и эксплуатацию расположенных на ней объектов. Зона затопления – территория, покрываемая водой в результате превышения притока воды по сравнению с пропускной способностью русла. [7]

В российском законодательстве понятие зона затопления и подтопления появилось в 2013 году в связи с принятием Федерального закона от 21 октября 2013 г № 282-ФЗ «О внесении изменений в Водный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

В 2014 году была развернута программа, по оценке зон затопления. С тех пор в основе проектирования лежит Постановление Правительства РФ от 18.04.2014 г № 360 «Об определении границ зон затопления, подтопления», ссылающееся на статьи 67 и 67.1 Водного кодекса Российской Федерации.

Последние изменения в данный документ были внесены Постановлением Правительства РФ от 07 сентября 2019 № 1171. В нем было установлено, что зоны затопления и подтопления устанавливаются или изменяются решением Федерального агентства водных ресурсов (его

территориальных органов) на основании предложений органа исполнительной власти субъекта РФ, подготовленных совместно с органами местного самоуправления, об установлении границ зон затопления, подтопления и сведений о их границах, которые должны содержать графическое описание местоположения этих границ, перечень координат характерных границ таких зон в системе координат, установленной для ведения в Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН).

По итогу, в данном вопросе базовыми являются Водный Кодекс РФ ст.67 и 67.1 и Градостроительный Кодекс РФ ст. 1. Это напрямую свидетельствует о том, что вопрос установления зон затопления лежит на стыке двух областей: гидрометеорологии, и градостроительного планирования, и территориального зонирования. Поэтому в данном вопросе руководствуются нормативными документами с обеих сторон. Свод правил по инженерным изысканиям:

- СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства»
- СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» и др.
- СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96»
- СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96» (новая редакция)
- СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления». Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85

Эти документы регламентируют все этапы работы, начиная от предварительного сбора данных по объекту до состава и порядка проведения изысканий, камеральной обработки данных, гидрологических расчетов и написания итогового отчета. Но значительный список нормативной

документации не решает проблем, с которыми на практике сталкиваются специалисты, занимающиеся определением границ зон затоплений.

Так, с одной стороны, местами устанавливаются излишне строгие требования, а с другой – местами совершенно не регулируются, давая волю исполнителям там, где нужны строгие правила. В качестве примера, в разделе 4 СП 11-103-97 и разделе 7.1 СП 47.13330.2016 прописаны требования о натурных наблюдениях в течение не менее одной полной фазы режима, для которой определяются характеристики водного и уровня режима. Но в большинстве случаев, в сфере инженерных изысканий это не документируется в 80% технических заданий на определение границ зон затоплений, поскольку заказчики о нем не знают, а исполнители предпочитают не проводить работы в условиях повышенной опасности (в половодье и паводки). При этом альтернативные подходы к решению задачи в нормативных документах отсутствуют.

Не менее важным пунктом является кадастровая оценка земель. Объективная оценка является не только основой определения различных земельных платежей, но и важнейшим элементом управления земельными ресурсами в целом. Поэтому, от качества ее результатов зависит и благосостояние граждан, и развитие научно-методических основ. [8]

1.2 Гидрологические расчеты

Затопление и подтопление являются одними из возможных форм негативного воздействия вод на определенные территории и объекты. Их устанавливают в целях защиты жизни граждан и минимизации материального ущерба.

Методику определения зон затопления можно разделить на четыре этапа. Первый этап подразумевает сбор исходных информации. Самый расширенный список используемых данных включает в себя данные о гидрометеорологических, геодезических, кадастровых работах, а также

сведения о аэрокосмической съемке, антропогенном воздействии и ущербах от затоплений. Второй этап включает в себя обобщение исходных данных и выбор расчётных методик. Третий – определение расчетных характеристик. В заключении выделяются зоны затопления. Зачастую это происходит путем пересечения цифровой модели рельефа, построенной на основе топографических планов, и наклонной плоскости, соответствующей положению водной поверхности.

Уже на первом этапе, при сборе исходных данных, становится понятно, какую методику стоит использовать: при наличии гидрометрических наблюдений, при их отсутствии или недостаточности данных гидрометрических наблюдений.

При отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений ГГИ разработаны методические указания «Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений», которые основываются на использовании результатов гидрометрических наблюдений по пунктам-аналогам. Однако, на практике, подобрать пункт-аналог бывает очень затруднительно, в связи с чем, наиболее предпочтительным будет проведение полевых обследований интересующих участков рек. В таких случаях в методику включают ещё один этап – рекогносцировочные обследования затапливаемых участков рек. В ходе работ выявляются факторы, влияющие на пропускную способность русла (русловые процессы, участки образования заторов, гидротехнические сооружения и др.), проводится обоснование планово-высотной сети, установление, нивелировка и картирование меток высоких вод.

Для определения меток уровней высоких вод, необходимо не только, изучить архивные документы, но и на участке работ осмотреть пойму на наличие тины или других показателей повышения воды, также можно совершить опрос старожилов. Устанавливаются непосредственные следы паводка ещё и по отложениям и размывам на берегах русла и склонах долины.

Следы паводков для контроля нивелируются по возможно большему числу точек. Одновременно путем опроса необходимо определить время прохождения половодья с максимальной меткой высоких вод для того, чтобы установить повторяемость его в многолетнем ряду.

Получение расчетных уровней тоже возможно несколькими способами. Методы самые различные, от полевых измерений и обследований, до пространственного анализа и картографирования средствами ГИС. В данной работе использовались методы гидрологических обобщений и гидрологических расчетов. Следует отметить, что типовые методы гидрологических расчетов позволяют получить отметку наивысшего уровня только в расчетном створе.

Определение расчетных гидрологических характеристик основывалось на данных гидрометеорологических наблюдений, использовалась автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). Для более ранних данных использовались: «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши». [9]

Расчёт гидрологических характеристик проводился с помощью методов инженерных гидрологических расчётов, разработанных по СП-33-101-2003. Также, были использованы методические рекомендации по определению основных гидрологических характеристик при наличии, при недостаточности и при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, разработанные ГГИ и дополняющие основные положения руководящего документа СП 33-101-2003. [10], [11]

Перед началом расчётов по исходному ряду данных, проводились предварительный анализ, проверка ряда на случайность и однородность. Расчет числовых характеристик является корректным только в том случае, если ряд однороден. То есть, в течение всего периода наблюдений условия формирования стока не изменялись [12].

Однородность оценивалась по выборочным средним значениям (критерии Стьюдента) и дисперсиям (критерий Фишера), рассчитанным по

первой и второй половине рядов наблюдений. Расчет эмпирического значения критерия Фишера:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2}$$

Теоретическое значение статистики Фишера определяется по таблицам.

Эмпирическое значение критерия Стьюдента рассчитывается по формуле:

$$t^* = \left[\frac{\overline{Q}_1 - \overline{Q}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \right] \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}$$

Теоретическое значение статистики Стьюдента определяется по таблицам. Для всех трех рядов, гипотеза об однородности ряда по критериям Фишера и Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ не опровергается.

После, проводился расчёт параметров распределения и оценка их погрешностей. Были построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей.

Основным источником информации о наполнение русел и пойм, а также о продолжительности и величине превышения уровнем воды критических отметок являются данные о многолетних наблюдениях за основными гидрологическими характеристиками – расход и уровень воды.

Для сравнения трех лет выборки (2013–2015 год), а также оценки анализа динамики затоплений, их продолжительности, превышения различных критических отметок, были построены гидрографы по данным о ежедневных уровнях воды.

Более подробно рассматривался период июнь–октябрь, на который приходится спад весеннего половодья, дождевые паводки и иногда межень.

Для выбранного района характернее переход весеннего половодья в дождевые паводки (рис 1.1).

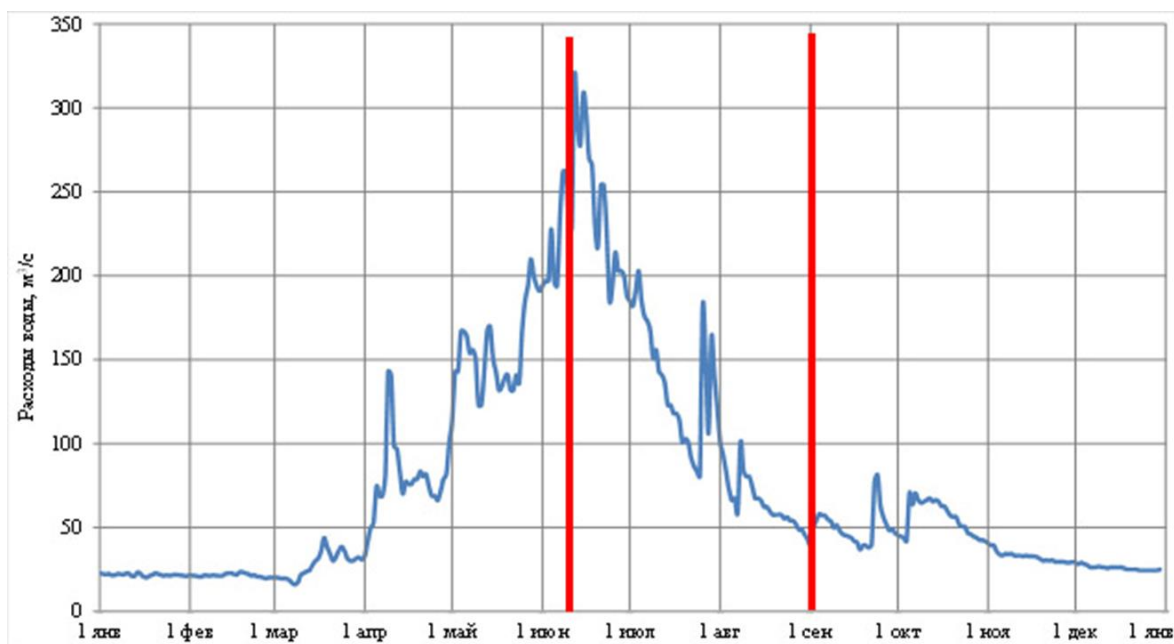


Рисунок 1.1 – Хронологический график хода уровней воды на р. Самур – с. Усухчай 2013 год.

По аналитической кривой обеспеченности за период многолетних наблюдений, определялись расчетные наивысшие уровни воды. Эмпирическая ежегодная вероятность превышения P_m гидрологических характеристик определяется по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n + 1} \cdot 100\%$$

где m – порядковый номер члена ряда гидрологической характеристики, расположенного в убывающем порядке;

n – общее число членов ряда.

1.3 Гидрологическое моделирование

При автоматизированном проектировании в качестве основного источника информации с местности служит ее цифровая модель. Цифровая модель местности состоит из цифровой модели рельефа и цифровой модели ситуации. Под термином цифровая модель рельефа (ЦМР) подразумевается математическое представление участка земной поверхности, полученное путем обработки материалов топографической съемки. ЦМР состоит из двух категорий данных: геометрической и семантической.

Геометрические данные представляют пространственное положение моделируемой поверхности и, как правило, представлены в виде функции двух переменных $z = F(x, y)$, где z – отметка точки; x и y – координаты.

Семантические данные характеризуют принадлежность точек поверхности к различным типам топографических объектов (поле, луг, дорога, река и т.д.). Эти данные имеют вид специальных семантических кодов, приписываемых дискретным элементам цифровой модели.

Точки рельефа могут быть получены как от изыскателей, так и при помощи оцифровки сканированных карт. Чтобы цифровая модель как можно лучше описывала реальную поверхность, необходимо на единицу площади поместить как можно больше точек.

На самом деле, для моделирования объекта существует огромное количество источников информации: аэро- и космических снимков, альтиметрическая съемка (рельеф суши), батиметрические и топографические карты и планы, топографическая съемка местности и геодезические работы, промерные работы, радиолокационная съемка, эхолотирование подводного рельефа акватории.

Не смотря на обширность различных источников исходных данных, на практике, возникает ряд трудностей. В качестве основных картографических материалов для определения зон затопления рекомендуется использовать:

- для ненаселенной местности: топографические карты Российской Федерации крупного масштаба (1:10 000-1:25 000)
- для населенных пунктов и развиваемых территорий: топографические планы 1:2 000 и крупнее

Для построения цифровой модели рельефа была выбрана программа *ArcGIS*. Данный программный комплекс обладает большим количеством рабочих инструментов необходимых для выполнения картографических вычислений, также, имеет развитый интерфейс. Широкое распространение программного обеспечения *ArcGIS* позволяет использовать его при решении научных и прикладных задач, связанных с анализом, моделированием и прогнозированием. Использовалась карта Генерального Штаба ВС СССР масштабом 1:500000.

2 Формирование базы данных для исследования

2.1 Выбор и описание объекта исследования

Выбранным объектом исследования является река Самур, это вторая по величине (после р. Сулак) река Дагестана, имеющая большое хозяйственное значение. В настоящее время р. Самур используется в основном для орошения и водоснабжения республик Дагестан и Азербайджана. Большая часть водосбора р. Самур находится на территории Дагестана.

Республика Дагестан расположена в северо-восточной части Кавказского региона (Кавказа) на берегу Каспийского моря. Северная часть республики представлена равнинной и, в меньшей степени, степной территорией. На юге Дагестана расположены предгорья и горы Большого Кавказа. Средняя высота всей территории Дагестана составляет 960 м над уровнем моря.

На расстоянии от истока до притока Усучай Самур течет параллельно Большому Кавказскому хребту по глубоким безлесным ущельям. После этого ущелье реки сравнительно расширяется. Так, в верхнем течении, от истока до впадения р. Кара-Самур, р. Самур протекает в ущелье, где падение воды достигает почти 1500 м на участке длиной 66 км. В среднем течении, на участке от устья р. Кара-Самур до с. Зухул, р. Самур протекает преимущественно в относительно широкой тектонической долине с террасированными склонами. Местами долина сужается до 20–70 м по дну, приобретая форму ущелья. В нижнем течении от с. Зухул до ответвления рукава Малый Самур река протекает в хорошо разработанной долине, имеющей ряд расширений до 2–3 км и сужений до 0,3–0,7 км. В пределах Приморской низменности долина неясно выраженная. Конус выноса р. Самур имеет длину 21 км, ширина его достигает 40 км. На всем протяжении участка

прослеживается пойма, сложенная отложениями блуждающей реки и ее рукавов. Число рукавов, прорезающих пойму непостоянно, после прохождения паводков рельеф поймы значительно изменяется. Притеррасная часть поймы заболочена, особенно по правому берегу, где имеют место выходы грунтовых вод. Полного затопления поймы, за исключением первых 500 м, не происходит, затопляются лишь наиболее пониженные участки на глубину 0,3–1,5 м. На всем протяжении участка р. Самур помимо основного русла имеет ряд рукавов и протоков, находящихся на расстоянии от 0,5 до 2,0 км друг от друга. Берега основного русла высотой 0,2–1,0 м, у второстепенных рукавов и протоков они часто почти не выражены [13] [14].

2.2 Гидрометеорологическая информация

Территория речных бассейнов Республики Дагестан включает в себя пять климатических и ряд физико-географических зон: от субтропиков и Прикаспийской низменности, находящейся на 28 м ниже уровня мирового океана, до снежных вершин высотой более 4000 м. [15] По характеру рельефа, климата, гидрологических условий и разнообразию физико-географических факторов территория Республики Дагестан можно разделить на четыре области: высокогорную, внутригорную, внешнегорную и равнинную. На территории Дагестана по орогидрографическим признакам выделено четыре учетных района: северный, включающий речные бассейны рек Кумы, Терека и Акташа; центральный – бассейн р. Сулак; предгорный – реки, стекающие с Сулак-Каспийского водораздела (реки, расположенные в междуречье Сулака и Самура) и южный – бассейн р. Самур.

Наиболее крупными реками являются Сулак и Самур, которые широко используются в народном хозяйстве для гидроэнергетики, мелиорации и водоснабжения. Река Самур является основным водисточником южных районов. В настоящее время река используется для орошения и

водоснабжения сельскохозяйственных и промышленных районов Республики Дагестан и Азербайджанской Республики.

Бассейн реки Самур, расположенный в южной части Дагестана, включает 68 притоков, наиболее крупными из которых являются реки Курах, Чирагчай, Гюльгерычай, Дюльтычай, Кара-Самур, Ахтычай, Усухчай и др. В таблице 2.1 представлены гидрографические характеристики основных рек бассейна р. Самур. На рисунке 2.1 представлена гидрографическая сеть части Дагестана, четко виден бассейн реки Самур.



Рисунок 2.1 –Спутниковый снимок водосбора р. Самур

Таблица 2.1 – Гидрографическая характеристика основных рек бассейна р. Самур

Название реки	Куда впадает	Длина, км	Абс. отм. истока, м	Абс. отм. устья, м	Средний уклон, ‰	Площадь бассейна, км ²	Средний уклон бассейна, ‰	Средняя высота бассейна, м	Средняя густота речной сети, км/км ²
Самур	Каспийское море	213	2880	–28	13,7	7333	346	1973	0,64
Дюльтычай	Самур	26	3260	1744	42,1	202	413	2822	0,81
Курдул	Самур	19	3100	1588	79,6	109	480	2695	0,78
Кара-Самур	Самур	42	3730	1440	55,2	482	444	2654	0,77
Хиривалю	Кара-Самур	22	3360	1739	73,3	127	365	2866	0,81
Шиназчай	Самур	30	3780	1379	81,3	159	–	2722	0,70
Ахтычай	Самур	63	3300	1000	36,5	963	519	2587	0,53
Даличай	Ахтычай	14	3120	1794	94,7	107	386	2984	0,60
Фия	Ахтычай	18	2980	1450	85,0	122	505	2742	0,74
Маза	Ахтычай	21	3100	1300	85,7	148	552	2563	0,60
Усухчай	Самур	37	3730	837	78,6	272	399	2639	0,73
Гюльгерычай	Самур	40	420	–14,5	10,8	2345	250	1654	1,46

Название реки	Куда впадает	Длина, км	Абс. отм. истока, м	Абс. отм. устья, м	Средний уклон, ‰	Площадь бассейна, км ²	Средний уклон бассейна, ‰	Средняя высота бассейна, м	Средняя плотность речной сети, км/км ²
Чирагчай	Гюльгерычай	93	2600	420	23,4	895	252	2457	0,92
Курах	Гюльгерычай	85	3000	420	30,4	1097	308	1699	0,66
Араг	Курах	37	2460	453	54,2	316	276	1534	0,52
Макавац	Араг	33	2310	630	50,9	138	253	1515	—

Река Самур берет свое начало вблизи Халахуркесского перевала, у горы Гутон Главного Кавказского хребта и впадает в Каспийское море. Река протекает сначала в юго-восточном, а на последних 65 км – в северо-восточных направлениях. Длина реки 213 км, общее падение 2929 м, средняя высота водосбора 1973 м. Средний уклон реки Самур – 13,6 ‰. Первые 38 км, считая от истока, уклон выше среднего в пределах 13,8–20,1 ‰. На остальном участке реки уклон ниже среднего в пределах 8,6–11,7 ‰. Примерно 80 % площади бассейна лежит выше 1500 м, около половины территории – выше 2500 м. 65 % всего бассейна составляет сама река Самур (без бассейна притоков) [16].

Бассейн р. Самур приурочен к трем физико-географическим провинциям: предгорному, внутригорному и высокогорному Дагестану. Бассейн верховья Самура сложен глинистыми сланцами, а в нижнем течении – песчаниками и меловыми отложениями. Около 80 % площади бассейна занято высокогорными лугами и степями. Лесная растительность в бассейне развита крайне слабо. Общая площадь лесов составляет 90 км² или около 2 % от всей площади водосборов. Такое положение приводит к сильному размыву водосбора и тем самым способствует значительному увеличению твердого стока реки Самур. Река Самур отличается высокой мутностью, обусловленной интенсивным разрушением горных пород (преимущественно рыхлых глинистых сланцев и песчаников). Среднегодовая мутность возрастает вниз по течению реки, составляя в верховье у с. Лучек 1400 г/м³, у с. Ахты 2060 г/м³, у с. Усухчай 4850 г/м³ и у с. Зухул 4880 г/м³. Среднегодовой сток наносов составляет 4,7 млн. тонн [17] [18].

Питание реки Самур смешанное. Воды Самура образуются преимущественно за счет дождевых и грунтовых вод. В годовом стоке 42 % дождевых, 32 % грунтовых, 22 % снежных и 4 % ледниковых вод. При этом объем грунтового питания увеличивается до 40 % в нижнем течении. Режим реки относится к типу весенне-летнего половодья с хорошо выраженной зимней меженью и осенними паводками. Распределение стока по сезонам

неравномерно, но относительно устойчиво по длине реки и в различные по водности годы. Весеннее половодье начинается в конце марта и начале апреля и продолжается до мая–июня. Наиболее раннее наступление пика наблюдалось в апреле, а наиболее позднее – в августе. Выпадающие в этот период дожди ускоряют процесс снеготаяния и приводят к образованию паводков. Наибольшие расходы половодья, являющиеся обычно годовыми максимумами, проходят в мае–июне. С конца июня до сентября начинается период спада, реки переходят на питание грунтовыми водами. Характерными для режима реки являются летние и осенние дождевые паводки, максимальные расходы которых иногда превышают максимальные расходы весеннего половодья. С декабря по февраль, частично март, устанавливается зимняя межень, в период которой наблюдаются самые низкие в году расходы воды, обусловленные грунтовым питанием рек. Многолетняя амплитуда колебаний уровня увеличивается от истока до с. Ахты от 1,2 до 5,3 м. Ниже она уменьшается в связи с расширением дна до 1,3–3,0 м. На участках сужений русла в верхнем течении амплитуда колебаний уровня может достигнуть 7,0–8,0 м. Распределение стока по сезонам неравномерно, но относительно устойчиво по длине реки и в различные по водности годы. Большая часть стока (до 90 %) проходит в весенне-летний период. Наибольший месячный сток (20–25 % годового объема) наблюдается в июне, когда таянием охватываются зоны максимального снегонакопления, наименьший объем стока (2,0–2,5 %) – в феврале.

Современное оледенение занимает около 0,15 % общей площади водосбора. Ледники и снежники, в отличие от других речных бассейнов Горного Дагестана, в бассейне р. Самур занимает незначительную площадь – по разным источникам от 8 до 12 км². Главным образом они встречаются на северных и северо-восточных склонах. На фоне глобального потепления, в ходе которого на Кавказе, включая бассейн р. Самур, происходит интенсивное таяние ледников. Следует отметить, что в бассейне р. Самур находится 29 ледников. Нижняя граница ледников в этих бассейнах проходит на высотах

3280 м. В настоящее время эта граница в бассейне р. Самур, по сравнению с 1895 г., поднялась на 220 м. По данным 2000 г. доля ледниковых вод в формировании годового стока рек Самур составляет 2,9 % (0,019 км³). При этом считается, что в условиях потепления ледниковый сток р. Самур увеличился на 5,3 % [19].

Наибольшее значение в формировании стока имеет верхняя часть бассейна до с. Лучек, а также наиболее полноводные притоки – реки Кара-Самур, Ахтычай и Усухчай, общий сток которых составляет около 50 % среднего годового расхода р. Самур у с. Усухчай. Наиболее полноводные ресурсы бассейна р. Самур отражает створ у с. Усухчай, который практически контролирует весь сток, сформировавшийся в бассейне р. Самур, замыкая зону активного водосбора.

Многолетняя амплитуда колебаний уровня увеличивается от истока до с. Ахты от 1,2 до 5,3 м. Ниже она уменьшается в связи с расширением дна до 1,3–3,0 м. На участках сужений русла в верхнем течении амплитуда колебаний уровня может достигнуть 7,0–8,0 м.

Общепризнано, что реки являются продуктом взаимодействия процессов накопления и расходования влаги.

Особенности режима стока рек горных и полугорных территорий определены вертикальной зональностью физико-географических условий. Что в свою очередь связано с пространственной неоднородностью распределения метеорологических элементов. Которое определяется орографическим, гипсометрическим и морфологическим строением горной системы, ее положением по отношению к преобладающему направлению воздушного переноса, а также характеристиками территории водосборов (диапазон высот, уклонов, экспозиционная контрастность, форма и ориентация речных долин, почвенно-растительный покров).

Недоучет специфики формирования стока в горах в сочетании с недостаточным количеством гидрометеорологических постов и станций

снижают степень достоверности результатов расчетов стоковых характеристик горных рек.

Накопление влаги в горах происходит в зависимости от географического положения гор, главным образом, за счет осадков в холодный период – разновидностей замерзшей воды: снега, глетчера, льда, причем накопление осадков в твердом виде возрастает с высотой зоны.

Таяние и освобождение гор от снега растягивается во времени также в зависимости от высоты бассейна, высоты основных стокоформирующих зон и, главным образом, от климатических условий. С увеличением диапазона высот в горах увеличивается как продолжительность холодного периода и, соответственно, величина снегозапасов, так и продолжительность снеготаяния

Заток тепла в зону залегания снега вызывает его таяние. После превышения его водоудерживающей способности начинается водоотдача, захватывающая все более обширные зоны. Одновременное выпадение жидких осадков на тающий снег приводит к резкому повышению водоотдачи: кроме того, что осадки приносят дополнительно тепло, капли дождя действуют разрушающе на снежные микрообразования. Вода, достигшая почвы, в зависимости от подстилающей породы либо быстро стекает в русловую сеть при скалистом грунте, либо, что более распространено в горах, просачивается в нижние слои по крупно- и мелкообломочным материалам. В связи с этим вода в разных участках бассейна, как правило, проходит через замыкающий створ на реке в разное время: от нескольких часов до трех месяцев.

От диапазона высот зависит, главным образом, величина осадков, выпадающих и накапливающихся в твердом виде, а также распределение стока во времени – чем выше бассейн, тем позже наблюдаются положительные температуры воздуха и тем позже проходит талая снеговая и ледниковая вода через замыкающий створ реки.

Из-за разнообразия форм рельефа и близости моря на территории Дагестана сформировались разнообразные климатические условия. Влияние субтропического климата в Армении наблюдается только в северо-восточной

и южной частях страны. В остальных районах климат континентальный (лето жаркое, а зима холодная), а также умеренный с умеренными летом и зимой.

Несмотря на небольшие размеры, территория бассейна Самура характеризуется разнообразием климатических условий. Это обусловлено как внешними, так и местными климатообразующими факторами. Горный рельеф здесь обуславливает высотную климатическую поясность. Здесь представлены как переходный климат от климата полупустынь умеренного пояса с мягкой зимой к климату степей субтропического пояса, так и резкоконтинентальный климат высокогорных водораздельных хребтов с холодной зимой и прохладным летом. Условия в бассейне довольно контрастные: от влажных высокогорий (до 800 мм осадков в год) до степных и полупустынных (с годовой суммой осадков 200–300 мм) в нижнем течении. По климатическим условиям можно отметить изменения температуры и количества выпадающих осадков с высотой местности. Так, на территории, приуроченной к рассматриваемым гидрологическим постам, где высоты водосборов изменяются от 800 до 1500 метров, среднегодовая температура изменяется от $+8,0^{\circ}$ до $+10,0^{\circ}\text{C}$. Лето теплое, температура самого теплого месяца – июля – колеблется от $+18,1^{\circ}$ до $+20,0^{\circ}\text{C}$. Зима относительно холодная, самым морозным месяцем является январь, температура которого изменяется от $-2,2^{\circ}$ до $-2,9^{\circ}\text{C}$.

Годовая сумма осадков на территории бассейна Самура колеблется от 359 до 548 мм. В выпадении осадков проявляется сезонность, то есть основное их количество приходится на теплый период и колеблется в пределах от 11,5 до 22,6 мм. В среднем, большая часть осадков (70–80 %) выпадает в виде дождей в теплый период года. Несмотря на это, летом из-за высоких температур наблюдается некоторый дефицит влаги. Климат высокогорной части бассейна характеризуется как умеренно континентальный с прохладным и влажным летом и достаточно холодной зимой. Среднегодовая температура воздуха колеблется от $+1^{\circ}$ до $+5^{\circ}\text{C}$, а в зоне высот более 3500 м отмечаются отрицательные значения. Наиболее теплым месяцем является август с

колебанием температур от +13–17° до +25–30 °С. Самый холодный месяц – февраль со среднемесячной температурой от -9 до -10°С. Снежный покров устойчив только на высоте 1200 м и выше. Толщина снега не превышает 30–50 см, в некоторые годы снежные осадки вовсе отсутствуют.

2.3 Данные рельефа

Река Самур является второй по величине (после р.Сулак) рекой Дагестана, имеющей большое хозяйственное значение. В настоящее время река используется в основном для орошения и водоснабжения республики Дагестан и Азербайджана.

Самур берёт начало с отрога Главного Кавказского хребта недалеко горы Гутон, впадает в Каспийское море двумя рукавами – Самур и Малый Самур, образуя на последних 20 км обширную дельту.

Горная часть бассейна р. Самур расположена в южной части Республики Дагестан и занимает северо-восточную часть Главного Кавказского хребта и южные склоны отрогов Бокового хребта. Среднее и верхнее течения расположены на территории Дагестана. Нижнее течение образует границу между Российской Федерацией и Республикой Азербайджан. С юга до г. Гутон бассейн реки Самур ограничен Главным Кавказским хребтом, по которому проходит государственная граница. На западе хребет Анхимал (отрог-перемычка между Водораздельным и Боковым хребтами) отделяет его от верховий реки Джурмут. На севере Самурский бассейн по хребтам Дюльтыдаг, Чульты, северной части Самурского хребта и хр. Кокма граничит с истоками рек Каракойсу и Казикумухское Койсу. Далее северная граница данного бассейна проходит по хр. Джуфудаг и междуречью р. Гюльгеричай, правого притока Самура, и р. Рубас.

Наибольшей высоты (4000-4500 м) водоразделы достигают на севере у истоков левобережных притоков Дюльтычай и Кара-Самур и на юге у истоков правобережных притоков Усухчай и Тагирджал.

В геологическом строении территории принимают участие породы от нижнеюрских до современных отложений включительно. Так, высокогорная часть бассейна сложена ниже- и среднеюрскими отложениями, предгорная – неогеновыми и четвертичными, а низменная – четвертичными [20].

Бассейн р. Самур приурочен к трем физико-географическим провинциям: предгорному, внутригорному и высокогорному Дагестану. Бассейн верховья Самура сложен глинистыми сланцами, а в нижнем течении – песчаниками и меловыми отложениями. Около 80 % площади бассейна занято высокогорными лугами и степями. Лесная растительность в бассейне развита крайне слабо. Общая площадь лесов составляет 90 км² или около 2 % от всей площади водосборов. Такое положение приводит к сильному размыву водосбора и тем самым способствует значительному увеличению твердого стока реки Самур. Река Самур отличается высокой мутностью, обусловленной интенсивным разрушением горных пород (преимущественно рыхлых глинистых сланцев и песчаников). Среднегодовая мутность возрастает вниз по течению реки, составляя в верховье у с. Лучек 1400 г/м³, у с. Ахты 2060 г/м³, у с. Усухчай 4850 г/м³ и у с. Зухул 4880 г/м³. Среднегодовой сток наносов составляет 4,7 млн. тонн.

Примерно 60 % площади бассейна, включающей верхнюю часть водосбора до с. Лучек, правобережную до устья р. Усухчай и участок в верховьях р. Тагирджал, лежит в пределах высокогорного пояса Большого Кавказа. Левобережная часть бассейна реки в среднем течении (между створами с. Лучек и устье р. Тагирджал) и долина самой р. Самур на этом участке входят в область внутригорного Дагестана.

Рельеф высокогорной части бассейна характеризуется множеством коротких скалистых хребтов с крутыми склонами, покрытыми у подошвы глыбовыми и щебнистыми осыпями. Хребты направлены перпендикулярно к самой реке и её основному притоку Ахтычай и возвышаются над дном речных долин на 1200-700 м.

Верховья р. Самур, рек Курдул, Ахтычай и Усухчай находятся в пределах обособленных горных котловин. Сложена высокогорная зона в основном песчаниками и мощными отложениями глинистых сланцев. Наиболее высокие вершины и склоны приводораздельных хребтов (выше 3500 м) покрыты ледниками и вечными снегами. Современное оледенение в бассейне развито на площади 7,7 км² (0,15% общей площади водосбора), наиболее мощные ледники расположены в верховьях правобережных притоков.

В бассейне преобладают щебнисто-каменные грунты, покрытые в основном травянистой растительностью, а нередко и оголённые. Около 80% его площади занято высокогорными лугами и степями и только 1,5-2% - лесами.

2.4 Сведения об опасных гидрометеорологических явлениях

Из опасных гидрометеорологических процессов и явлений, представленных на официальном сайте ФГБУ «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», для района исследований характерны шквалистые и сильные ветра, сильный дождь, туман.

Сведения об опасных метеорологических явлениях и критерии учета опасных процессов и явлений приведены в таблице 1.1.

Селевые явления и оползневые процессы характерны для Республики Дагестан. Сход селевых потоков и активизация оползневых процессов возможны с мая по октябрь. Селевые процессы проявляются на территории Дагестана примерно на 5 % ее площади, и происходят в горных районах и предгорьях республики.

Таблица 2.2 – Сведения опасных гидрометеорологических процессах и явлениях

<i>Метеорологические</i>	
Очень сильный ветер (в том числе шквал, ураганный ветер)	Ветер при достижении скорости при порывах не менее 30 м/с
Смерч	Сильный маломасштабный вихрь с вертикальной осью в виде столба или воронки любой интенсивности, направленный от облака к подстилающей поверхности
Сильный ливень (сильный ливневый дождь)	Количество осадков не менее 30,0 мм за период не более 1 ч
Очень сильный дождь (мокрый снег, дождь со снегом)	Значительные жидкие или смешанные осадки (дождь, ливневый дождь, дождь со снегом, мокрый снег) с количеством осадков не менее 50,0 мм за период не более 12 ч
Очень сильный снег	Значительные твердые осадки (снег, ливневый снег) с количеством выпавших осадков не менее 20,0 мм за период времени не более 12 ч
Продолжительный сильный дождь	Дождь с короткими перерывами (суммарно не более 1 ч) с количеством осадков не менее 100,0 мм за период времени более 12 ч, но менее 48 ч, или 120,0 мм за
Крупный град	Град диаметром не менее 20 мм
Сильная метель	Перенос снега с подстилающей поверхности (часто сопровождаемый выпадением снега из облаков) сильным (со средней скоростью не менее 15 м/с) ветром и с метеорологической дальностью видимости не более 500 м продолжительностью не менее 12 ч
Сильная пыльная (песчаная) буря	Перенос пыли (песка) сильным (со средней скоростью не менее 15 м/с) ветром и с метеорологической дальностью видимости не более 500 м продолжительностью не менее 12 ч
Сильный гололёд	Диаметр отложения льда на проводах гололёдного станка не менее 20 мм
Сильное гололёдно-изморозевое отложение, налипание мокрого снега	Диаметр гололёдно-изморозевого, сложного отложения или отложения мокрого (замерзающего) снега на проводах гололёдного станка не менее 35 мм
Сильный туман (сильная мгла)	Сильное помутнение воздуха за счёт скопления мельчайших частиц воды (пыли, продуктов горения), при котором значение метеорологической дальности видимости не более 50 м продолжительностью не менее 12 ч
Сильный мороз	В период ноябрь-март минимальная температура воздуха: -28,0°C и ниже – в предгорных и горных районах Республики Дагестан;
Аномально-холодная погода	В период с ноября по март в течение 5 дней и более значение среднесуточной температуры воздуха ниже среднедекадной нормы на 10,0°C и более
Сильная жара	В период май-сентябрь максимальная температура воздуха: +40,0°C и выше – в предгорных и горных районах Республики Дагестан
Чрезвычайная пожароопасность	Показатель пожарной опасности относится к 5-му классу (10000°C и более по формуле Нестерова)

Сход снежных лавин	Лавинная опасность – сход лавин, затрудняющий и ограничивающий хозяйственную деятельность. Лавины не выходят за границы своего обычного распространения. Возможно перекрытие лавинными массами транспортных магистралей, прилегающих к лавиноопасным склонам. Исключительная лавинная опасность – сход крупных лавин, наносящий значительный ущерб хозяйственным объектам или создающий опасность населённым пунктам (во всех горных районах, исключая район Сочи)
<i>Гидрологические</i>	
Половодье*	Фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды и вызываемая снеготаянием или совместным таянием снега и ледников
Зажор*	Скопление шуги с включением мелкобитого льда в русле реки, вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъём уровня воды до отметок повторяемостью наивысших уровней менее 10 %
Затор*	Скопление льдин в русле реки во время ледохода, вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъём уровня воды до отметок повторяемостью наивысших уровней менее 10 %
Паводок*	Фаза водного режима реки, вызываемая дождями или снеготаянием во время оттепелей, которая может многократно повторяться в различные сезоны года, характеризуется интенсивным, обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды до отметок повторяемостью наивысших уровней менее 10 %
Сель	Сель – стремительный поток большой разрушительной силы, состоящий из смеси воды и рыхлообломочных пород, внезапно возникающий в бассейнах небольших горных рек в результате интенсивных дождей или бурного таяния снега, а также прорыва завалов и морен, наносящий ущерб хозяйственным объектам или создающий опасность населённым пунктам
Раннее ледообразование*	Появление льда и образование ледостава (дата) на судоходных реках, озёрах и водохранилищах в конкретных пунктах в ранние сроки повторяемостью не чаще 1 раза в 10 лет

Таким образом, исходя из таблицы 2.2, к опасным гидрометеорологическим явлениям для выбранного участка относятся: сильные морозы – $-30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже – в низменных районах Республики Дагестан, $-28,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже – в предгорных и горных районах Республики Дагестан; сильная жара – $+42,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше – в низменных районах Республики Дагестан, $+40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше – в предгорных районах Республики Дагестан;

Критерии опасных природных (гидрологических) явлений по постам Дагестанского ЦГМС представлены в таблице 2.3 [21].

Таблица 2.3 – Критерии опасных гидрологических явлений по постам выбранного района исследования

Река – пункт	Явление	Отметка ОЯ, м ³ /с, см, м БС
1	2	3
Новый Терек – Каргалинский г/у (нижний бьеф)	Паводок	1000 м ³ /с (расход) и более
	Зажор, затор	340 см
	Низкая межень	25 м ³ /с и ниже* (расход)
Терек – рук. Новый Терек – Аликазган	Паводок, затор, зазор	400 см
Акташ – Андрей аул	Паводок	250 м ³ /с и более
Андийское Койсу – Агвали	Паводок	350 см
Андийское Койсу – Чиркота	Паводок	300 см
Уллучай – Маджалис	Паводок	530 см
Самур – Ахты	Паводок	400 см
Рук. Новый Терек – Дамба	Паводок, затор, зазор	600 см
Самур – Усучай	Паводок	420 см и более
	Низкая межень	240 см
Ахтычай – Ахты	Паводок	550 см
Курах – Касумкент	Паводок	300 см
Аварское Койсу – Красный мост	Паводок	350 см
Кара-Койсу – Гунибский Мост (в створе Гунибской ГЭС)	Паводок	510 м ³ /с и более при отметке ФПУ 860,00 м БС
Кара-Койсу – Гергебильская ГЭС	Паводок	200-220 м ³ /с и более при отметке 786,58 м БС
Самур – Лучек	Паводок	300 см
Кара-Самур – Лучек	Паводок	300 см
Чирахчай – Куркент	Паводок	300 см

2.5 Ледники

Ледники Дагестана приурочены к высоким горным хребтам и отдельным массивам. Служат истоком многих рек дагестанского высокогорья. Малых рек, водность которых обеспечивается вечными снегами, ледниками и фирном (промежуточное состояние снежной массы между льдом и снегом), в Дагестане насчитывается 50. Все они сосредоточены в бассейнах рр. Сулак и Самур.

Ледники р. Самур приурочены к его притокам – рр. Дюльтычай, Чехычай, Усучай, Ахтычай – и истокам самой р. Самур. По площади

оледенения, объему льда и фирна ледники бассейна р. Самур уступают практически всем Койсу (приток р. Сулак), за исключением Казикумухского. Связано это с более сухим климатом, южной экспозицией долины р. Самур, малоснежными зимами и отсутствием лесов.

Главные очаги оледенения в бассейне реки Самур приходятся только на два ее притока – рр. Дюльтычай и Чехычай. Площадь оледенения их соответственно составляет 5,1 км² и 4,15 км².

В верховьях р. Самура имеются небольшие ледники, практически не влияющие на величину стока. Они играют решающую роль в величине стока только в Дюльтычайском и Чехычайском ущельях. Ледники р. Дюльтычай, а их всего 16, плохо изучены из-за труднодоступности. В верховьях этой реки наблюдаются три крупных очага оледенения – Хашхарвинский, Цацкий и Саладагский.

Ледниковый очаг Базардюзю – самый крупный на Самуре. Всего ледников в бассейне р. Самур 29, их суммарная площадь достигает 9,5 км² при объеме ледовой массы 0,278 км³. Самый протяженный, ледник Муркар, вытянут в длину на 2,7 км. Крупнейшим по площади ледником является Хашхарва Юго-восточная (1,1 км²).

Из общего количества ледников р. Самур восемь имеют длину свыше 1 км.

Река Самур. Берет начало у ледника Самурский, расположенного на восточном склоне хребта Халахур под перевалом Самурский. Ледник небольшой, ниже языка летом возникает моренное озерко, из которого сочится небольшой ручеек. Это и есть исток р. Самура. В 7-ми км ниже по течению реки слева в нее впадает р. Халахур, в бассейне которой лежит ледник Чаанский. Здесь же имеется большое фирновое поле, приуроченное к юго-западному склону горы Гокли (3892 м). Площадь оледенения в истоках Самура 0,2 км², объем льда и фирна 0,003 км³ [22].

2.6 Разбивка водотока на участки

Для исследования было выбрано пять гидрологических постов на реке Самур и двух её притока – Ахтычай и Усухчай. В связи с тем, что прогнозируемые уровни воды в работе получены методом соответственных уровней, для которого необходимо время добегания, то суть разбивки заключалась в том, чтоб было удобно считать время добегания и среднюю скорость отдельно для главной реки, и отдельно для притоков.

Неравномерное движение характерно для речных потоков, русло которых значительно изменяет свою форму и размеры поперечного сечения по длине. В связи с этим русла естественных водотоков (рек) должны рассматриваться как непризматические. Для неравномерного движения воды в реках характерно изменение по длине потока скорости течения, средней глубины, площади сечения, коэффициента шероховатости и уклона дна.

В свою очередь, время добегания (τ) на бесприточном (слабоприточном) участке реки зависит от длины участка (l), уровня воды (H), уклона водной поверхности (I), формы поперечного сечения (K), шероховатости русла (n), т.е.:

$$\tau = f(l, H, I, K, n)$$

Если рассматривать конкретный участок реки и полагать, что параметры K и n изменяются в зависимости от уровня воды, то выражение упрощается и принимает вид:

$$\tau = f(H, I)$$

Поэтому, выбранный участок реки был разбит на три части для получения бесприточных участков. Участки:

- 1) От р. Самур – с. Лучек до р. Самур – с. Ахты

2) От р. Ахтычай – с. Ахты до р. Самур – с. Усухчай

3) От р. Усухчай – с. Усух-Чай до р. Самур – с. Усухчай

Схема выбранного участка приведена на рисунке 2.1.

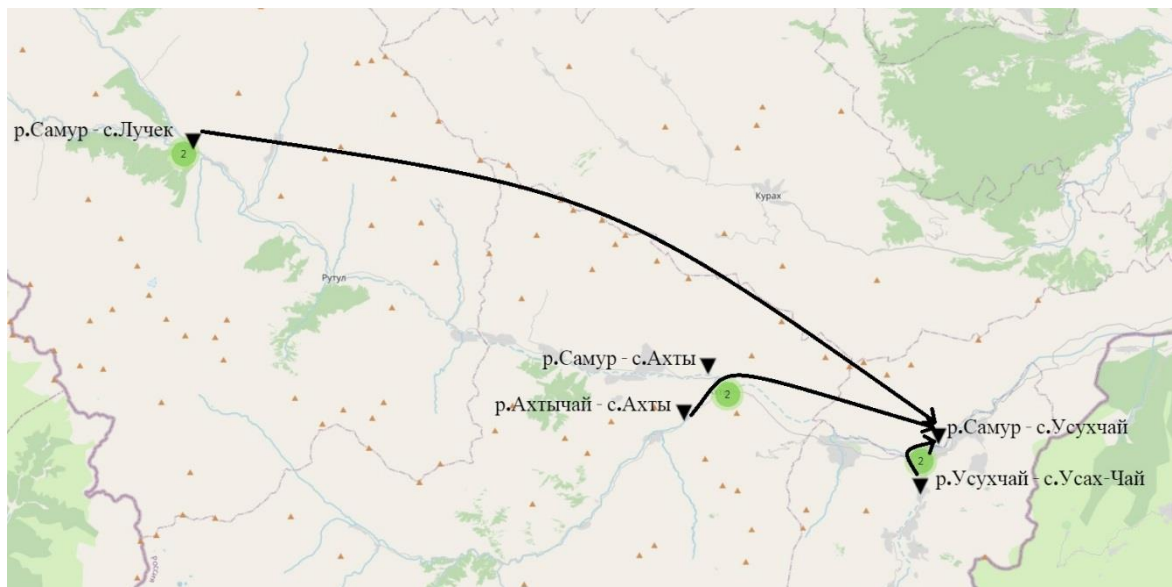


Рис. 2.2 – Схема расположения гидрологических постов

Описание гидрологических постов.

Пост р. Самур – с. Лучек. Пост расположен в селе Лучек в 400 ниже впадения р. Кара-Самур.

Местность, прилегающая к долине реки, горная.

Долина реки-ящикообразной формы, с крутыми склонами сложенными скальными грунтами, покрытыми травянистой растительность и редким кустарником. Правый склон имеет неширокую террасу занятую фруктовым садом.

Русло реки умеренно извилистое, на участке поста прямолинейное, слабо деформирующееся.

Водпост речный находится на левом берегу и состоит из рейки, самописца типа «Валдай» и репера. Высота реперу передана нивелировкой IV класса УГМС Азерб ССР 1958г.

Гидроствор №1 – двухтросовая люлечная переправа в 6 м выше водпоста. Гидроствор №2 – дистанционная гидрометрическая установка ГР-70 в 40 м ниже водпоста.

Зимой на реке наблюдаются забереги, шуга, сало.

Высота нуля графика поста 1430,87 м БС.

Единичные пробы воды на мутность берутся в гидростворе №1 батометром-бутылкой, в 12 м от левого берега.

Температура воды измеряется в створе водпоста, с левого берега.

Пост р. Самур – с. Ахты. Он расположен в 2,0 км к С от с. Ахты и в 100 м выше впадения р. Ахтычай.

Местность, прилегающая к долине реки, горная.

Долина реки-ящикообразной формы, с крутым левым и террасированным правым склонами. Склоны сложены коренными сланцевыми породами, покрыты скудной ксерофитной растительностью. Правобережная широкая терраса сложена выносами правобережного притока реки Самур реки Ахтычай.

Русло реки прямолинейное, сложено валунно-галечными песчаными отложениями, сильно деформирующееся.

Водпост речный находится на правом берегу и состоит из рейки, самописца типа ГР-38 и двух реперов. Высоты реперам передана нивелировкой IV класса УГМС Азерб ССР 1958г.

Зимой на реке наблюдаются забереги, шуга, сало.

Высота нуля графика поста 999,82 м БС.

Гидроствор №1 – двухтросовая люлечная переправа в 99 м выше водпоста. Гидроствор №2 – дистанционная гидрометрическая установка ГР-70 в 30 м ниже водпоста.

Единичные пробы воды на мутность берутся в гидростворе №2 в 12 м от поста с помощью батометра-бутылки.

Температура воды измеряется в створе водпоста у берега.

Пост р. Ахтычай – с. Ахты расположен у села Ахты в 60 метрах выше моста.

Местность, прилегающая к долине реки, горная.

Долина реки-ящикообразной формы, с обрывистым левым и крутым правым склонами, сложенными суглинистыми грунтами, покрытыми скудной травянистой растительностью.

Пойма на участке поста незначительна, сложена аллювиальными отложениями.

Русло реки галечно-валунное, блуждает по пойме, сильно деформирующееся; в отдельные большие паводки пойма затопляется полностью. Берегами являются склоны долины.

Водпост речной находится на правом берегу и состоит из рейки и репера. Высоты репера передана нивелировкой IV класса УГМС Азерб ССР 1957г.

Зимой на реке наблюдаются забереги, шуга, сало.

Высота нуля графика поста 1027,91 м БС.

Гидроствор №1 – двухтросовая люлечная переправа в 3 м выше водпоста.

Единичные пробы воды для определения мутности берутся батометром в гидростворе №1.

Температура воды измеряется у водпоста с левого берега.

Пост р. Усухчай – с. Усух-Чай. В 2,0 км восточнее села Усухчай, в 0,9 км выше впадения р. Усухчай.

Прилегающая местность горная.

Долина У – образной формы, с крутым и обрывистым правым склоном, высотой 6-7 м, покрытым травянистой растительностью и более пологим, террасированными – левым, на котором расположено с. Усухчай с садами и огородами. Склоны долины сложены суглинистыми и супесчаными, с вкраплением гальки, грунтами.

Пойма двухсторонняя шириной 20-40 метров, затопляется при высоких уровнях.

Русло реки прямолинейное, песчано-галечное с большими валунами, сильно деформирующееся. Берегами являются склоны долины, левый – пологий, высотой 1,5-2,0 метра, правый – обрывистый, сложены песчано-галечными отложениями.

Пост оборудован двумя реперами. Высоты реперам передана нивелировкой IV класса УГМС Азерб ССР 1958г.

Зимой на реке наблюдаются забереги, шуга.

Гидроствор №1 – одностросовая люлечная переправа в 70 м ниже водпоста.

Температура воды измеряется в гидростворе с левого берега.

Ввиду блуждания русла по пойме наблюдения над уровнями воды не ведутся. Для учета стока воды производятся учащенные измерения расхода воды.

Пост р. Самур – с. Усухчай находится в 1,0 км ниже села Усухчай и в 150 метрах ниже впадения р. Усухчай.

Прилегающая местность горная.

Долина реки – ящикообразная с крутым, местами отвесным левобережным склоном. Высотой 250-300 метров, скудной ксерофитной растительностью и более пологим правым, террасированным, занятым пашней и садами.

Пойма на участке поста отсутствует.

Русло реки прямолинейное, сложено валунно-галечно-песчанными отложениями, с отдельными крупными (1-3м) валунами, деформирующееся. Берега обрывистые, высотой 3-5 м, террасированные (правый). Терраса двухступенчатая, первый ярус сложен хрящеватыми грунтами и загромождена крупными (0,5-1,5 м) валунами. Второй ярус террасы распахан под пашню и сады.

Водпост речной находится на правом берегу и состоит из двух рек, самописца типа «Валдай» и двух реперов.

Высоты переданы нивелировкой IV класса УГМС Азерб ССР.

Зимой на реке наблюдаются забереги, шуга, сало.

Высота нуля графика поста 824,64 м БС.

Гидроствор №2 – двухтросовая люлочная переправа в 13 м выше водпоста. Гидроствор №3 – дистанционная гидрометрическая установка ГР-64 в 5 метрах выше водпоста.

Температура воды измеряется в гидростворе с левого берега.

Ввиду блуждания русла по пойме наблюдения над уровнями воды не ведутся. Для учета стока воды производятся учащенные измерения расхода воды [23].

Сведения о текущем состоянии водных объектов поступают с части действующих станций и постов опорной гидрологической сети. Эти станции и посты называются информационными. При организации информационной сети исходят из необходимости всестороннего изучения режима водных объектов, потребностей народнохозяйственных организаций, службы гидрологических прогнозов и наличия средств связи.

3 Подходы прогнозирования зон затопления и подтопления

3.1 Методы прогноза уровней (расходов) воды на горных и полугорных реках

Практическая необходимость в прогнозах стока горных рек прежде всего возникла для рек Средней Азии и Кавказа, водные ресурсы которых используются для орошения земель, как и у реки Самур [24].

Годовой цикл водного режима горных рек отражает внутригодовые изменения климатических величин и неравномерность поступления талых, дождевых, подземных, а для некоторых рек и ледниковых вод в речную сеть в течение года. С повышением средней высоты водосбора изменяются условия снегонакопления, сроки, продолжительность и интенсивность таяния снега (льда), характер распределения осадков и их вид, условия формирования подземного стока; в бассейнах рек, где снегозапасы являются главным фактором, определяющим водность реки, распределение стока внутри года зависит в основном от теплового баланса периода таяния снежного покрова, годовой ход осадков имеет второстепенное значение. Влияние температуры воздуха на изменение речного стока неодинаково для рек с разной средней высотой водосбора. На реках, у которых основным источником питания являются высокогорные снега и в меньшей степени ледники, ход расходов определяет изменение температуры воздуха в период таяния снега. На среднегорных бассейнах подобная зависимость наблюдается лишь до момента стаивания сезонных запасов снега. На низкогорных бассейнах ход стока в период половодья может сильно искажаться под влиянием выпадающих жидких осадков. На этих реках гидрограф половодья, может быть, в виде одной волны или в виде чередования отдельных волн, обусловленных условиями снеготаяния и выпадением жидких осадков.

В настоящее время прогноз стока горных рек чаще всего осуществляется на основе приближенных корреляционных связей между стоком и обуславливающими его гидрометеорологическими факторами. Связи могут быть графического или аналитического вида. Основным фактором стокообразования во всех связях является накопление влаги в бассейне - сумма осадков за холодный период. Осадки, снеготопы в условиях ограниченных пунктов наблюдений на горном бассейне характеризуются косвенными показателями или индексами.

Другой подход к прогнозу стока горных рек основан на решении уравнений баланса влаги и тепла с применением математических моделей как отдельных гидрологических процессов, так и всего цикла формирования талого и дождевого стоков. Модели отражают процессы накопления, таяния снежного покрова, потерь на инфильтрацию, трансформацию поступившей воды в гидрограф стока [25].

Краткосрочное прогнозирование стока горных рек основано на учете закономерностей движения воды в руслах и учете притока воды на пути движения потока. Прогнозы, составляются на основе метода соответственных уровней (расходов) воды.

Прогноз расходов в нижнем створе участка реки сводится к решению соответственных расходов воды вида:

$$Q_{H,t} = Q_{B,t-\tau} + \int_0^l q dl$$

где $Q_{H,t}$ – расход воды в нижнем створе в момент времени t ;

$Q_{B,t-\tau}$ – расход воды в верхнем створе в момент времени $t-\tau$ (τ – время добегания на участке);

l – длина участка;

q – приток воды на единицу длины участка.

На практике часто не удаётся с достаточной точностью определить промежуточный приток. По этой причине для слабоприточных и бесприточных участков рек часто удаётся строить зависимости вида:

$$Q_{н,t} = f(Q_{в,t-\tau})$$

И

$$H_{н,t} = f(H_{в,t-\tau})$$

В данной работе в качестве прогностической используется последняя зависимость. Заблаговременность прогноза определяется временем руслового добегания от верхнего створа до нижнего.

Модель формирования весенне-летнего стока горных рек, предназначенная для расчета на ЭВМ, была разработана в САНИИ и получила свое дальнейшее развитие в исследованиях Гидрометцентра России. Итогом исследований Гидрометцентра России явились методические указания к разработке метода краткосрочного прогноза расходов воды горных рек на примере р. Карадарьи. Модель рекомендуется к применению на горных реках со сравнительно небольшим количеством осадков, выпадающих на освободившуюся от снега поверхность бассейна.

Исходными данными к разработке методики прогноза стока являются ежедневные расходы воды в расчетном створе, суточные суммы осадков и средние суточные температуры воздуха по станциям, расположенным на разных высотах. При прогнозе расходов воды с заблаговременностью до 5 сут. необходимо использовать данные об ожидаемых температуре воздуха и количестве осадков.

Модель формирования стока горных рек состоит из двух блоков - модели формирования снежного покрова, таяния снега и ледников, поступления воды на поверхность бассейна и модели трансформации

поступающей воды в гидрограф стока, включая расчет потерь. Модель отображает изменение запасов воды в снежном покрове по высоте (H) и по времени (t).

Кроме вышеуказанных методов для краткосрочного прогнозирования стока горных рек, используются методы, основанные на использовании генетической формулы стока. Часто в основе прогноза по генетической формуле стока лежит учет притока воды в речную сеть по данным о стоке малых рек с дальнейшей его трансформацией с помощью кривых добегания.

Основная информация, используемая при составлении гидрологических прогнозов горных бассейнов, — это снегозапасы. Особенно слабо освещены данными о снегозапасах высокогорные части речных бассейнов. Снимки с искусственных спутников Земли дают возможность установить степень покрытости бассейна снегом, а затем по гипсографической кривой определить высоту снеговой линии.

С помощью спутниковой информации проводятся наблюдения за динамикой схода снега со склонов разной экспозиции.

Так, по данным спутниковых снимков анализировались условия схода снега в бассейнах Верхней Оби, Катунь, Верхнего Енисея. По этим рекам были установлены зависимости изменения заснеженности площади бассейна $F_{\text{сн}}/F_{\text{общ}}$ (%) от суммы накопившихся положительных температур воздуха за период от даты начала таяния до даты получения снимка и от максимальных снегозапасов S_{max} . С помощью этой зависимости можно установить степень заснеженности площади на любой день и по полученным данным прогнозировать сток рек Оби, Катунь, Енисея на оставшийся период половодья [26].

Высота снеговой линии является косвенным показателем стока отдельных месяцев и за весь период снеготаяния. Исходя из этого была установлена зависимость среднего вегетационного расхода Q_{IV-IX} от высоты условной снеговой линии $H_{\text{усл}}$ ряда рек Средней Азии.

В период весеннего половодья существенную роль играют снегозапасы за холодный период, увлажнение почвы (предшествующее зиме), изменение хода температур в зимний период (наличие продолжительных оттепелей), осадки (выпадающие в период половодья).

Прогнозная оценка стока весеннего половодья должна учитывать и происходящие климатические изменения, которые могут носить как локальный характер, связанный с местным изменением стокоформирующих факторов, так и глобальный, связанный с изменениями индекса циркуляции, температуры приземного слоя воздуха и нижнего слоя атмосферы, с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере.

3.2 Сравнительный анализ методов

При неустановившемся медленно изменяющемся движении воды в открытом русле при наличии бокового притока описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} i - \frac{\partial h}{\partial l} &= \frac{v^2}{C^2 * R} + \frac{1}{g} * \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} * \frac{\partial v}{\partial l}, \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial l} &= q \end{aligned} \right\}$$

где i – уклон водной поверхности;

h – глубина потока;

l – расстояние участка;

v – средняя скорость;

C – коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус;

g – ускорение свободного падения;

Q – расход воды;

q – боковой приток.

Все методы прогноза расходов (уровней) воды, физической основой которых является заданная система уравнений можно разбить на три основные группы:

- 1) методы, в которых в явном виде не учитывается характер распластывания паводочной волны;
- 2) методы, основанные на приближенных уравнениях трансформации паводочных волн;
- 3) методы, основанные на численном интегрировании уравнений Сен-Венана.

Согласно принятой терминологии, первые две группы методов относятся к категории упрощенных методов, третья - к категории «строгих». Наиболее широкое распространение получили методы первой группы и среди них метод соответственных уровней (расходов). Основным достоинством этого метода прогноза является его простота и возможности реализации при ограниченном объеме исходной информации, что наилучшим образом подходит для заданных условий. Наиболее точные результаты получаются, если степень нестационарности режима остается относительно одинаковой от паводка к паводку. Когда необходима разработка методики прогноза в условиях резких изменений уровней (расходов) воды и значительном распластывании паводочных волн (например, при попусках воды из водохранилища), применение их неэффективно. В этих случаях используются методы второй группы.

Для разработки прогностических рекомендаций на базе методов третьей группы требуется определенная подготовка в области прикладной математики и программирования. Кроме того, необходимо располагать данными о морфометрических и гидравлических характеристиках русла. Используются они, как правило, только для зарегулированных и особенно важных в народнохозяйственном отношении рек, где наблюдаются малые или даже обратные уклоны водной поверхности.

В ходе анализа из-за отсутствия всей необходимой информации было принято решение остановиться на методе соответственных уровней, который относится к методам первой группы.

В основе метода лежит учет закономерностей движения паводочной волны в русле реки. Известно, что расход воды из верхнего створа участка переместится в нижний через определенный промежуток времени. Величина этого промежутка зависит от расстояния между створами участка и от гидравлических условий движения паводка.

Рассматривая совмещенный график колебаний уровней (расходов) воды верхнего и нижнего створа можно легко установить, что ход уровней в нижнем створе повторяет колебания стока в верхнем створе. Естественно, что уровни воды однородные по фазе-максимумы, минимумы, в нижнем створе наблюдаются позднее, чем в верхнем створе за счет добегания воды между створами. Эти уровни были названы соответственными – это и есть название метода. В нижнем створе Q_n отличается от Q_v по двум причинам:

- Наличие боковой приточности;
- Связана с распластыванием или трансформацией паводочной волны.

В методе соответственных уровней (расходов) воды закономерности движения паводочной волны отражаются в наиболее простой форме.

Содержание метода заключается в установлении эмпирических связей между соответственными уровнями (расходами) воды в верхнем (верхних) и нижнем створах. При наличии информации об уровнях (расходах) воды в вышележащих створах можно предсказать, каким будет уровень или расход воды в прогнозном (нижнем) створе. Заблаговременность прогноза определяется как разность между сроками наступления соответственных уровней (расходов) воды в указанных створах, которую называют временем добегания (τ). Соответственными уровнями (расходами) воды считаются уровни (расходы) одной и той же фазы паводка на верхнем и

нижнем створах участка реки (пики, впадины, уровни на подъеме и спаде и т.д.) Данный метод прогноза является приближенным. Основное его допущение заключается в наличии однозначной зависимости времени добегания от уровня (расхода) воды в верхнем створе.

Метод соответственных уровней (расходов) применим, когда нет оснований ожидать заметной трансформации волны.

Как отмечалось выше, длина паводочных волн очень велика.

Так, даже весьма приближенные подсчеты показывают, что для средних и больших рек она составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч километров. В то же время высота половодий (а тем более дождевых паводков) обычно не превышает нескольких метров. Вследствие этого значение добавочного уклона водной поверхности несоизмеримо меньше ее уклона при установившемся режиме *id*.

Итак, суть метода сводится к установлению эмпирических связей между соответственными уровнями воды, наблюдавшимися в верхнем и нижнем створах.

В силу основного допущения метода соответственных уровней – наличия однозначной зависимости времени добегания от уровня (расхода) воды в верхнем створе, к определению времени добегания особый подход.

Так как объектом исследования является река Самур, это трансграничный водный объект берущий свой начало в Дагестане. Половину территории Дагестана занимают горы. Самур является горной рекой, средняя высота водосбора почти 2000 метров – 1970м. В общей сложности рассматривалось пять гидropостов. Замыкающий створ – для которого делается прогноз – река Самур село Усuhчай.

Для удобства определения времени добегания и средней скорости, выбранный участок реки был разбит на три части для получения бесприточных участков. Как уже было сказано ранее, чтоб повысить точность определения времени добегания на всех трех участках использовалось три метода определения времени добегания:

- 1) Определение времени добега на бесприточном участке способом совмещенных графиков колебания уровней по данным одного года;
- 2) Определение времени добега способом наименьших погрешностей;
- 3) Определение времени добега с использованием взаимно корреляционной функции.

Метод первый: определение времени добега на бесприточном участке способом совмещенных графиков колебания уровней по данным одного года. Определение соответственных уровней и времени добега осуществляется по характерным точкам графика колебания уровней воды двух створов.

Необходимо построить совмещенные графики колебания уровней по данным ежедневных уровней за 2 месяца первого года (рис. 3.1 – 3.3)

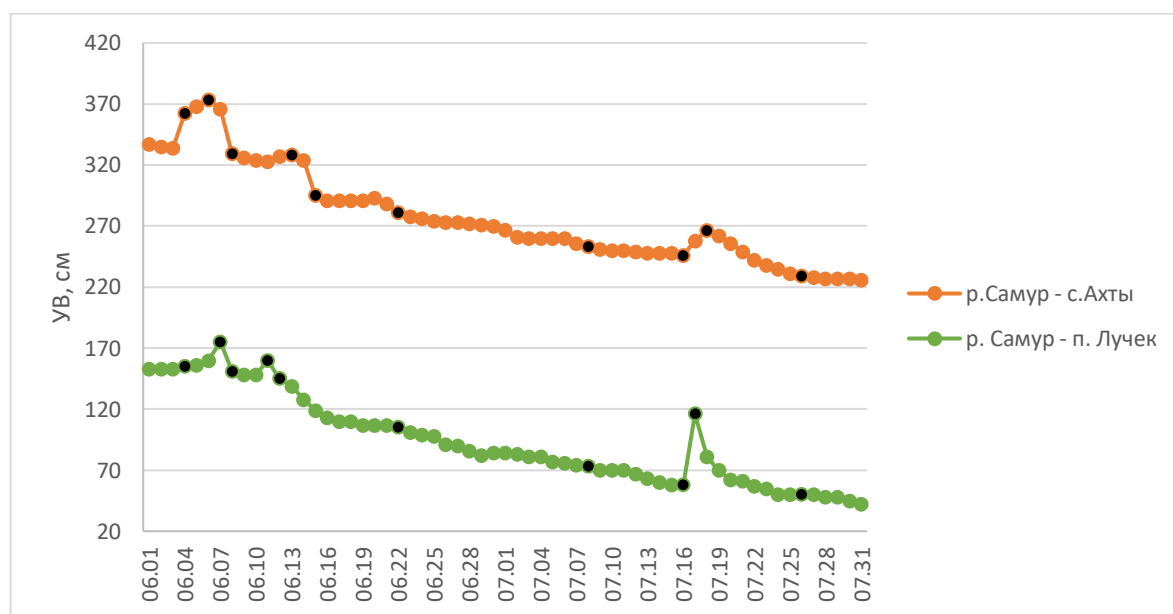


Рисунок 3.1 – Совмещенные графики колебаний уровней воды на участке от г/п с. Лучек до г/п с. Ахты за 2015 год

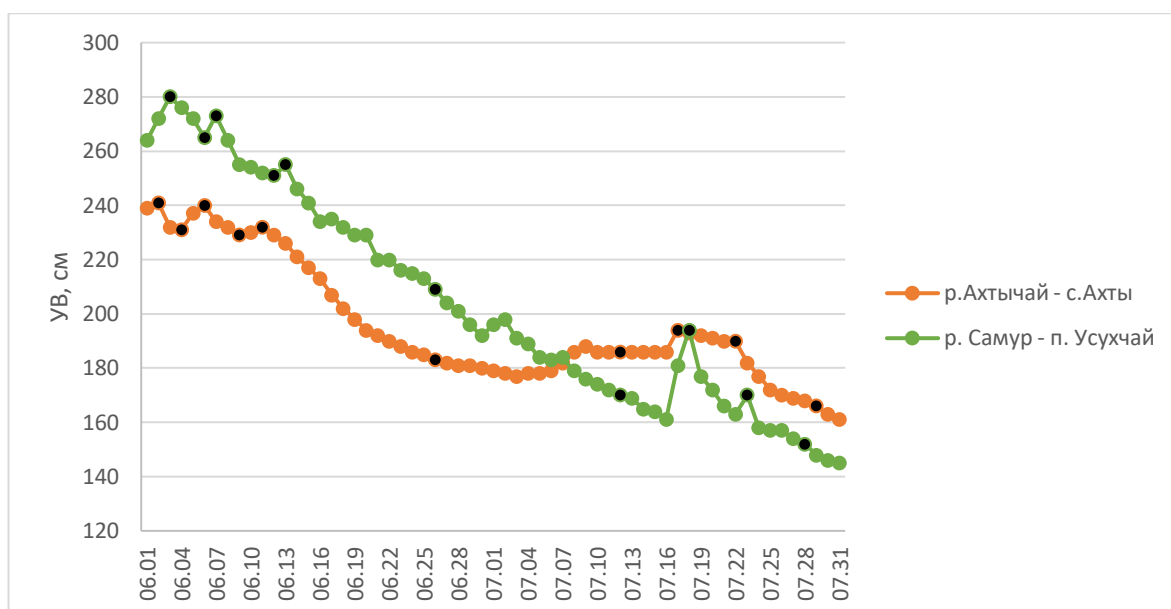


Рисунок 3.2 – Совмещенные графики колебаний уровней воды на участке от г/п с. Ахты до г/п с. Усухчай за 2015 год

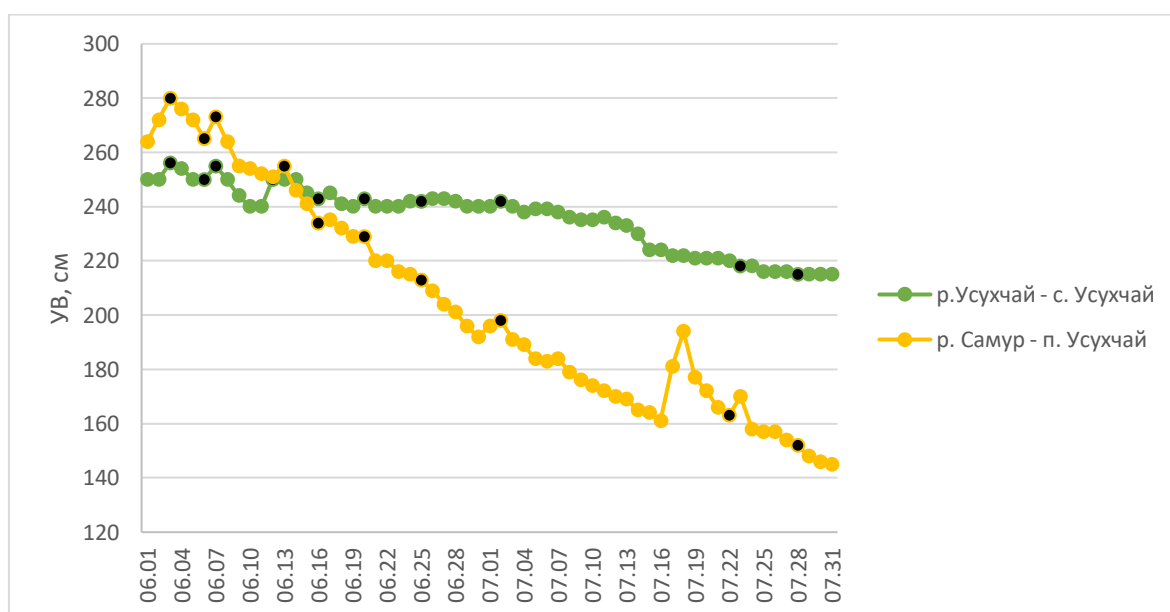


Рисунок 3.3 – Совмещенные графики колебаний уровней воды на участке от г/п с. Усух-Чай до г/п с. Усухчай за 2015 год

После построения совмещенных графиков необходимо отметить характерные точки: максимумы, точки перегиба и длительного стояния примерно одинакового уровня воды. Всего должно быть выбрано не менее 10 пар соответственных точек. По результатам отбора составляется таблица. Время добегания определяется как разность дат прохождения одной фазы

паводка на нижнем и верхнем створах соответственно. Среднее время добегания вычисляется с точностью до суток.

После получения времени добегания необходимо определить соответственные уровни при постоянном времени добегания. Для этого из ряда ежедневных уровней воды по нижнему створу произвольно выбирается 15 значений, которые достаточно полно будут описывать амплитуду колебаний уровней. Для каждого из этих отобранных уровней нижнего створа необходимо найти соответственный уровень верхнего створа с учетом постоянного времени добегания.

Метод второй: определение времени добегания способом наименьших погрешностей. Для реализации этого метода за исходные данные принимаю ежедневные уровни воды за два года. Необходимо:

- Найти амплитуду уровней воды
- Полученную амплитуду распределить с одинаковой дискретностью
- Найти в данных по верхнему створу значения уровня, близкие к расчетному и выписать даты этих уровней
- Сдвигать уровни нижнего створа, по отношению к уровню верхнего створа, на 1, 2, 3 суток
- Определить среднее значение уровней воды в нижнем створе для каждого из моментов времени
- Найти отклонение наблюдаемых уровней от их средних значений
- Посчитать среднее значение величины отклонения для каждого столбика
- Определить время добегания

Отклонение определяется по формуле:

$$|\Delta 1| = H_{\tau 1(i)} - \bar{H}_{\tau 1}$$

Время добегания определяется по формуле:

$$\tau = \frac{x}{y}$$

где x – это сумма из времени добегания, где получилась наименьшая погрешность для каждой врезки;

y – число вырезок всего.

Метод третий: определение времени добегания с использованием взаимно корреляционной функции. Исходными данными для этого метода являются ежедневные уровни воды за один год. Используются следующие формулы:

$$(\delta) = \frac{1}{N - \delta} \frac{\sum_{i=1}^{N-\delta} (H_{B,i} - \bar{H}_B)(H_{H,i+\delta} - \bar{H}_H)}{\sigma_{H_B} \sigma_{H_H}}$$

$$\sigma_{H_B} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_{B_i} - \bar{H}_B)^2}{N - 1}}$$

$$\sigma_{H_H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_{H_i} - \bar{H}_H)^2}{N - 1}}$$

Перед использованием этих формул производится сдвигка до десяти дней, сдвигается произведение отклонения от среднего дня верхнего створа на отклонение от среднего для нижнего створа.

Итогом этого метода является график 3.4 взаимно корреляционной функции, где в качестве времени добегания на участке выбирается максимальное значение $R(\delta)$.

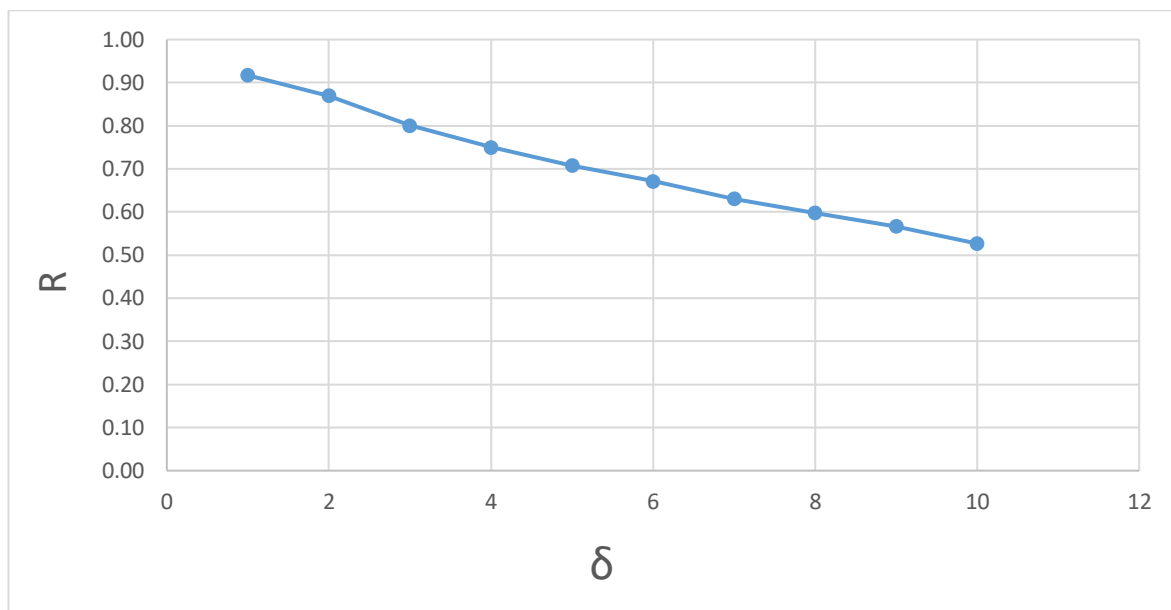


Рисунок 3.4 – Пример графика взаимно корреляционной функции
(участок от г/п Лучек до г/п Ахты, 2014 г.)

В первом методе для всех трех участков: с. Лучек – с. Ахты, с. Ахты – с. Усухчай, с. Усух-Чай – с. Усухчай, численное значение времени добегания выходило меньше единицы, за конечное время добегания принимается округленное значение равное 1 суткам. Метод наименьших погрешностей дал результаты от 1,8 до 2,2 – за время добегания принимается двое суток. Третий метод показал результаты времени добегания 1 сутки для участков от г/п Лучек до г/п Ахты и от г/п Усух-Чай до г/п Усухчай, для участка от г/п Ахты до г/п Усухчай время добегания равно 2 суткам.

В ходе анализа, беря во внимание, что рассматриваемый участок находится в горном районе и учитывая расстояния между гидрологическими постами, для данной работы наиболее достоверным является метод определения времени добегания на бесприточном участке способом совмещенных графиков колебания уровней по данным одного года, который давал результаты равные менее 1 суток.

3.3 Конечное определение времени добегания и прогнозирование соответственных уровней

Схема определения времени добегания на приточном участке выглядит следующим образом:

- 1) Вычисляется средняя скорость движения паводка для бесприточных участков:

$$V_1 = \frac{L_{1-1'}}{\tau'_1} = [\text{км/сут}]$$

$$V_2 = \frac{L_{2-2'}}{\tau'_2} = [\text{км/сут}]$$

$$V_3 = \frac{L_{3-3'}}{\tau'_3} = [\text{км/сут}]$$

- 2) Вычисляется средняя скорость течения на главной реке и на притоке:

$$V_{\text{глав}} = \frac{V_1 + V_3}{2} = [\text{км/сут}]$$

$$V_{\text{прит}} = \frac{V_2 + V_3}{2} = [\text{км/сут}]$$

- 3) Вычисляется время добегания на главной реке и на притоке:

$$\tau_1 = \frac{L_{\text{глав}}}{V_{\text{глав}}} = \dots \text{сут} - \text{главная река}$$

$$\tau_2 = \frac{L_{\text{притока}}}{V_{\text{притока}}} \dots \text{сут} - \text{приток}$$

Следовательно, заблаговременность:

$$\gamma = \min(\tau_1, \tau_2) \dots \text{суток}$$

Полученные результаты занесены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Определение времени добегания на приточном участке

Створы, ограничивающие участок	Длина, км	V, км/сут	Вычисленное время добегания, сут	Принимаемое значение, сут
Лучек-Усухчай	67	32.8	2.0	2
Ахтычай-Усухчай	19.6	10.3	1.9	2
Усух-Чай-Усухчай	1.05	10.3	0.1	1

За заблаговременность принимается наименьшее время добегания. Для рассматриваемых участков заблаговременность равна 1 суткам.

Далее происходит построение прогнозных зависимостей графического и графоаналитического вида методом соответственных уровней (только 1 год). Все расчеты и построения происходят по средствам программы *Microsoft Excel*.

Зависимости вида:

$$H_{H,t} = f(H_{B,t-\tau_2}, H_{B,t-\tau_1})$$

$$H_{H,t} = f(H_{B,t-\tau_2}^* + P_2 H_{B,t-\tau_1}^*)$$

$$H_{H,t} = f[(H_{B,t-\tau_2}^* + P_2 H_{B,t-\tau_1}^*), H_{H,t-\gamma}]$$

$H_{B,t-\tau_1}^*$ и $H_{B,t-\tau_2}^*$ – нормированные уровни методом приведения к единичному интервалу (верхний створ на главное реке и верхний створ на притоке).

Приведение к единичному интервалу:

$$H_{B_2}^* = \frac{H_{B_2} - H_{B_2min}}{H_{B_2max} - H_{B_2min}}$$

$$H_{B_1}^* = \frac{H_{B_1} - H_{B_1min}}{H_{B_1max} - H_{B_1min}}$$

$$P_1 = \frac{F_{\text{Ахтычай}}}{F_{\text{Лучек}}} = 1,03$$

$$P_2 = \frac{F_{\text{Усухчай}}}{F_{\text{Лучек}}} = 0,29$$

$H_{B_1min}, H_{B_1max}, H_{B_2min}, H_{B_2max}$ – за 2 месяца первого года.

$$P = \frac{F_2}{F_1} - \text{коэффициент водности}$$

F_2 – площадь водосбора верхнего створа притока

F_1 – площадь водосбора верхнего створа главной реки

Графики прогностических зависимостей приведены на рис. 3.5, 3.6, 3.7.

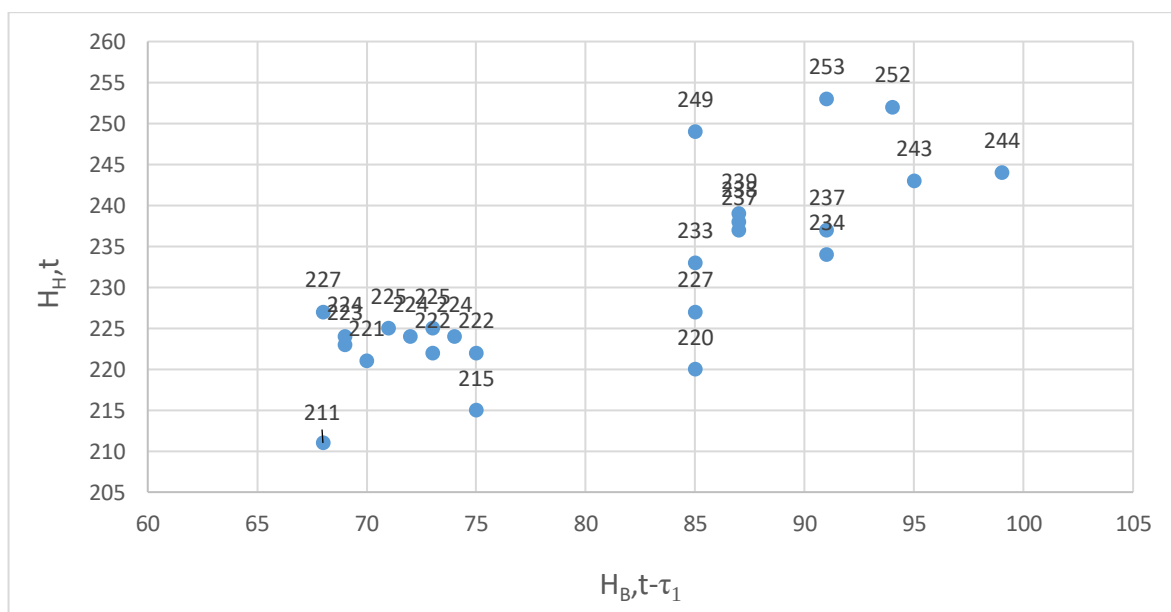


Рисунок 3.5 – Прогностическая зависимость первого вида

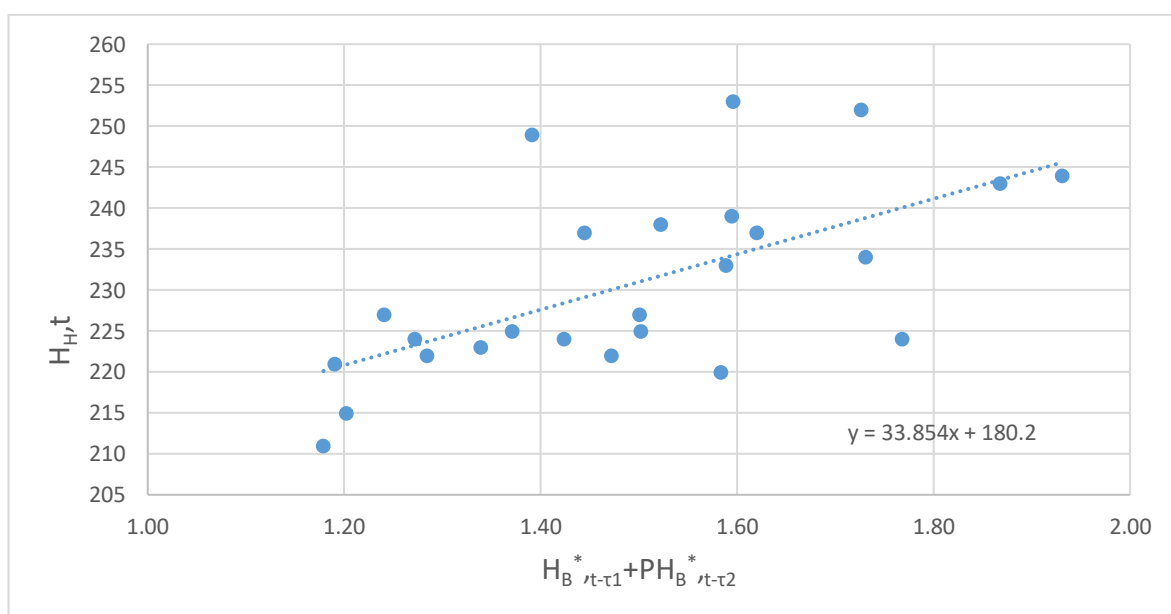


Рисунок 3.6 – Прогностическая зависимость второго вида

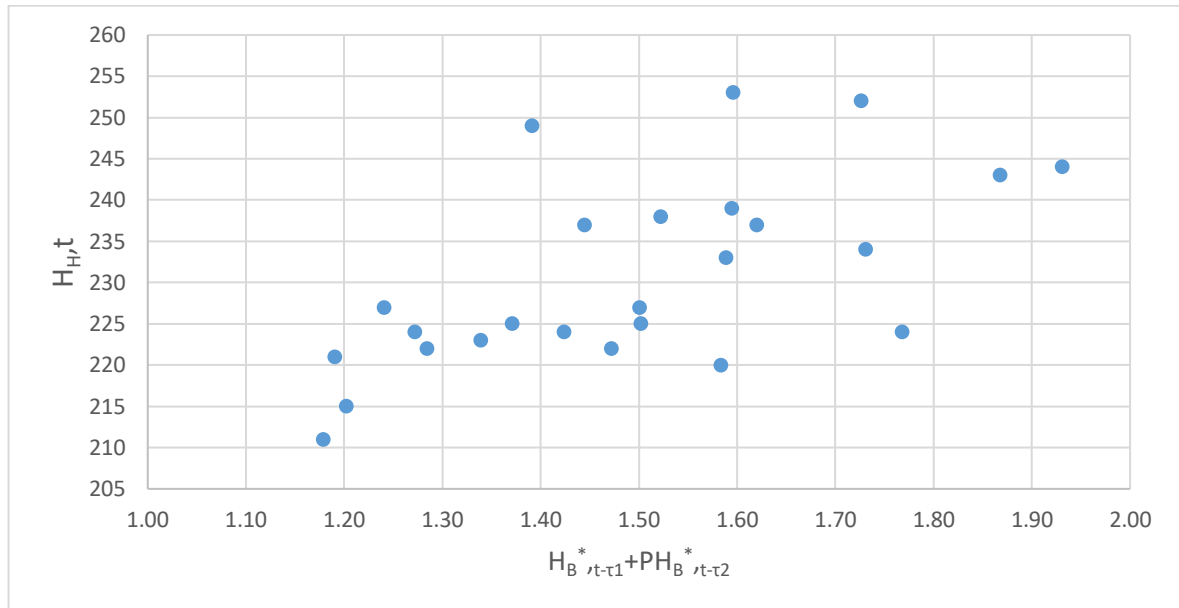


Рисунок 3.7 – Прогностическая зависимость третьего вида

Далее, происходит составление прогноза. Результат – ошибки прогноза:

$$\Delta H_t = H_{H,t} - \hat{H}_{H,t}$$

$$\Delta H'_t = H_{H,t} - \hat{\hat{H}}_{H,t}$$

$$\Delta H''_t = H_{H,t} - H_{H,t-\gamma}$$

По полученным расчетам строятся кривые обеспеченностей ошибок прогноза – рис. 3.8.

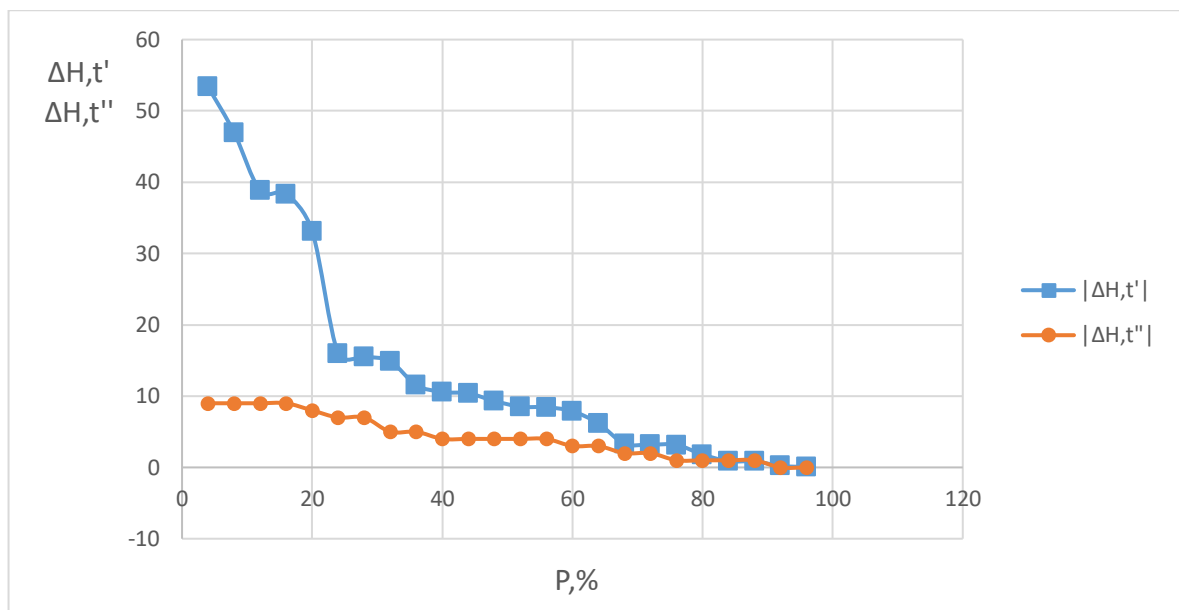


Рисунок 3.8 – Кривые обеспеченностей ошибок прогноза.

В заключение происходит проверка эффективности методики.

$$\sigma\Delta = \sqrt{\frac{\sum(\Delta H_t'')^2}{N-1}}$$

$$\delta_{\text{доп}} = 0.674\sigma\Delta$$

Условие $\sigma\Delta \leq \delta_{\text{доп}}$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\Delta H t')^2}{N-2}}$$

Условие $\frac{S}{\sigma\Delta} \leq 0.8$

В магистерской диссертации все описанные выше расчеты выполнялись для трех периодов: уровни близкие к меженным (окончание весеннего половодья), дождевые паводки, характерные уровни воды – максимумы, точки перегиба и длительного стояния примерно одинакового уровня воды.

Использовался выделенный период с июня по октябрь 2014–2015 года.

Замыкающим створом для которого составлялся прогноз являлся гидроствор р. Самур – с. Усухчай.

В данной работе рисунки 3.5 – 3.8 приведены в качестве примера и для обзора текущей ситуации. Рисунки 3.5 – 3.8 составлены для периода окончания весеннего половодья и дали наилучшие результаты из всех серий расчетов. Прогноз составлялся для дат с 3 июня по 27 июня 2015 года.

На рис. 3.8 и 3.9 видно, что прогнозные и природные значения практически совпали во второй половине рассматриваемого периода, но отношение $\frac{S}{\sigma\Delta} > 0,8$. Получена качественная оценка о том, что прогнозы неудовлетворительны.

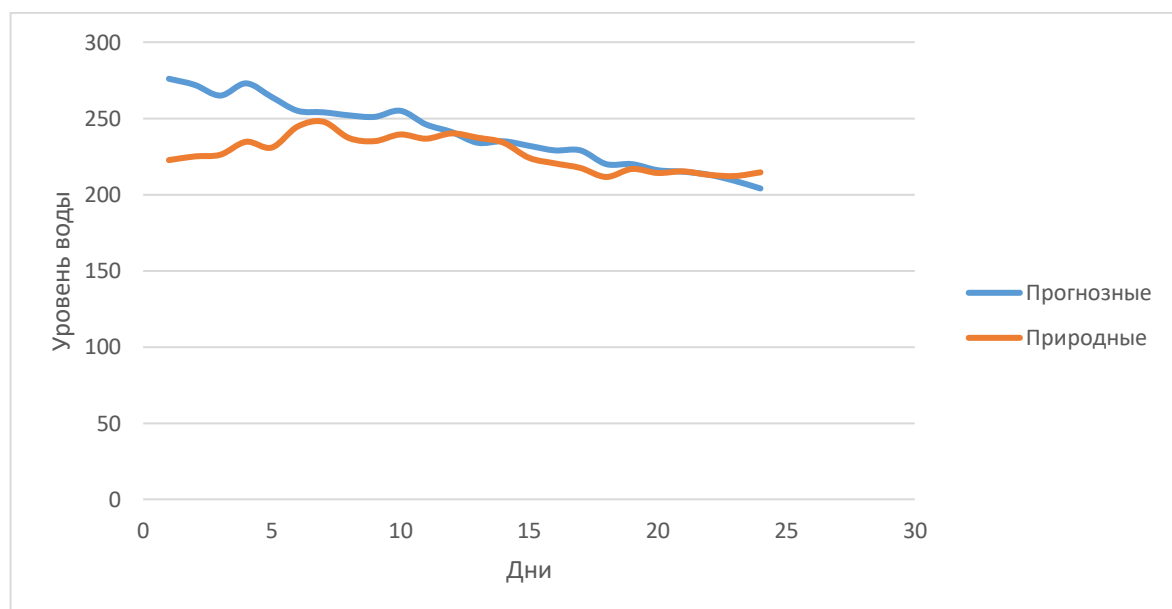


Рисунок 3.9 – Ход уровней воды за рассматриваемые даты, г/п р. Самур – с. Усухчай.

Вероятно, это связано с тем, что амплитуда уровней небольшая, в следствии получаются очень маленькие значения $\sigma\Delta$, и условия эффективности прогноза не выполняются.

Например, в ходе работы была замечена следующая ситуация: паводок есть на главной реке, а на притоках дождевой сток отсутствует. Причина тому то, что осадки не дошли до русла. Именно этот нюанс, который видно на рис.

3.10 – 3.13, закономерно отражается и на прогностической зависимости, что усложняет расчеты и дает результаты о неэффективности методики.

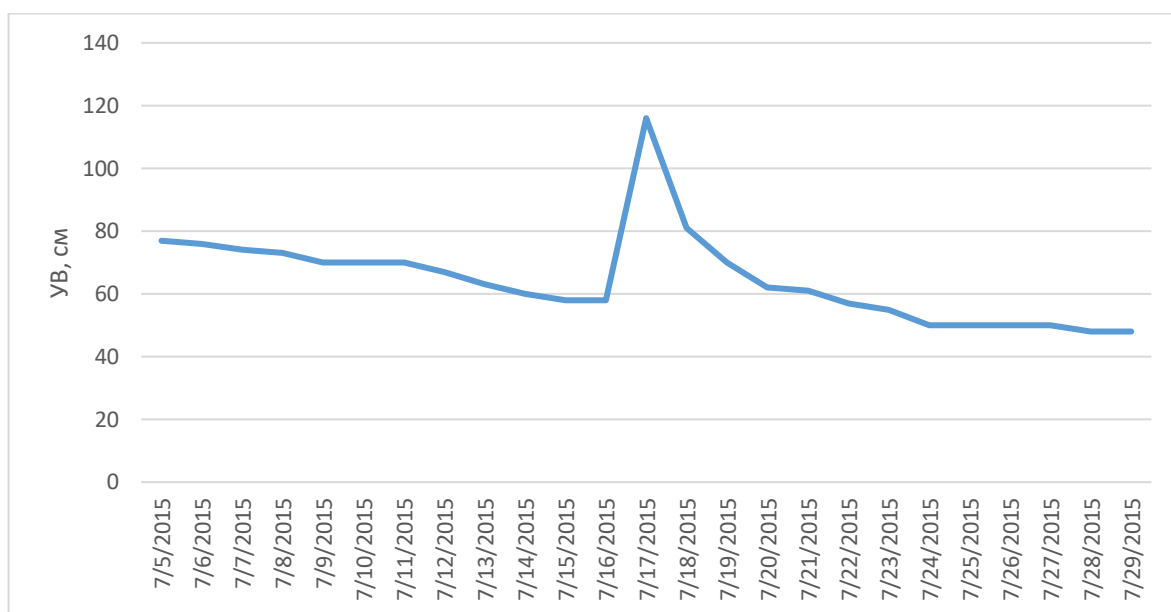


Рисунок 3.10 – Ход уровней воды с 5.07.2015 по 29.07.2015

на г/п р. Самур – с. Лучек (главная река).

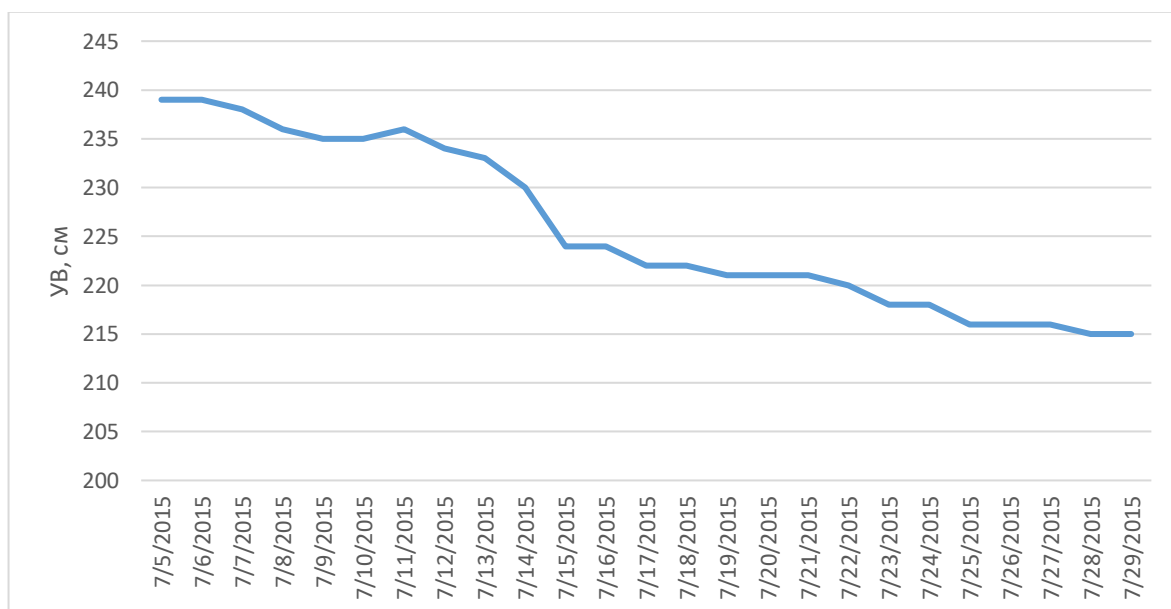


Рисунок 3.11 – Ход уровней воды с 6.07.2015 по 30.07.2015

на г/п р. Ахтычай – с. Ахты (приток №1).

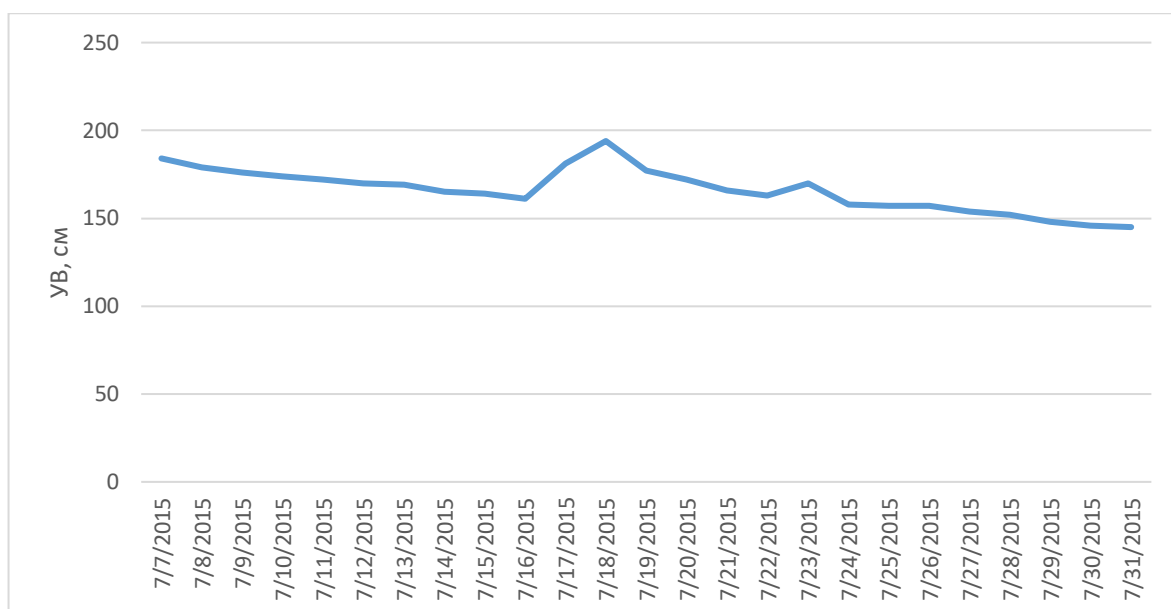


Рисунок 3.12 – Ход уровней воды с 7.07.2015 по 31.07.2015
на г/п р. Самур – с. Усукчай (главная река).

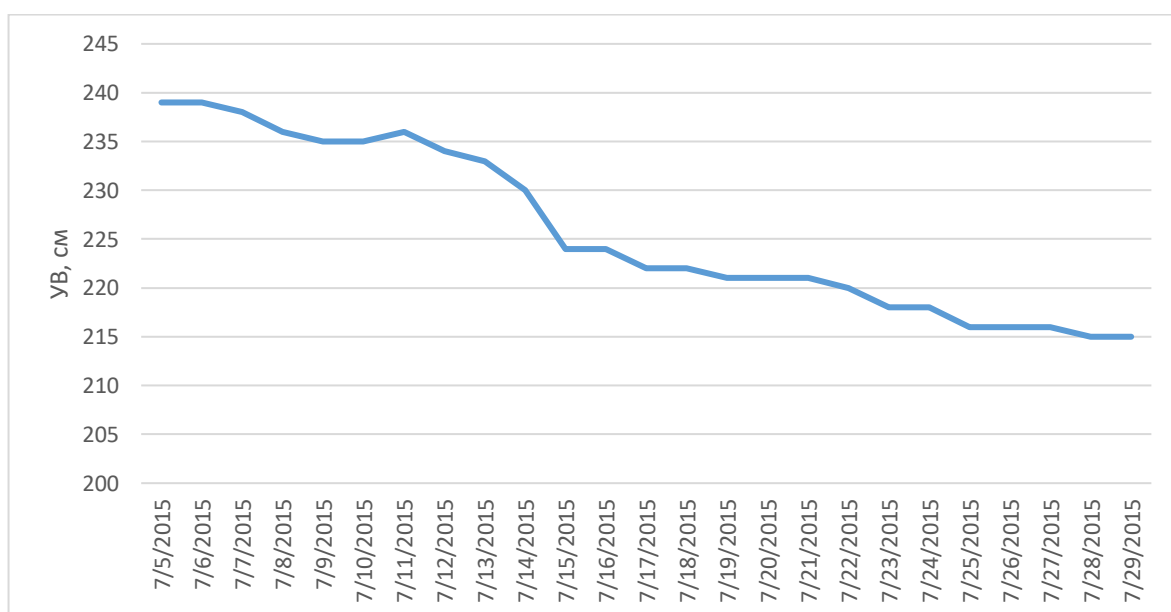


Рисунок 3.13 – Ход уровней воды с 6.07.2015 по 30.07.2015
на г/п р. Усукчай – с. Усук-Чай (приток №2).

При рассмотрении выдающихся дат, был получен гидрограф в виде гистограммы (рис. 3.14), который так же указывает на незначительную разницу в полученных значениях, не смотря на обеспеченные ошибки прогноза, различие в которых – значительное. Это говорит о том, что есть какие-то факторы, которые при прогнозе не учитывались.

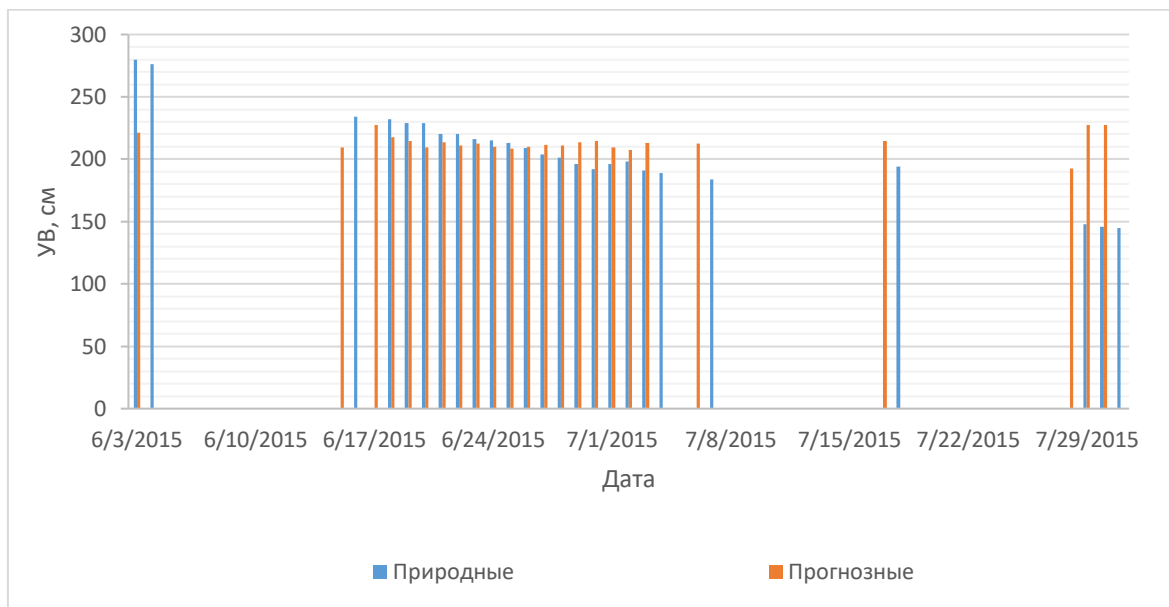


Рисунок 3.14 – Гидрограф в виде гистограммы за характерные даты 2015 года на г/п р. Самур – с. Усучай.

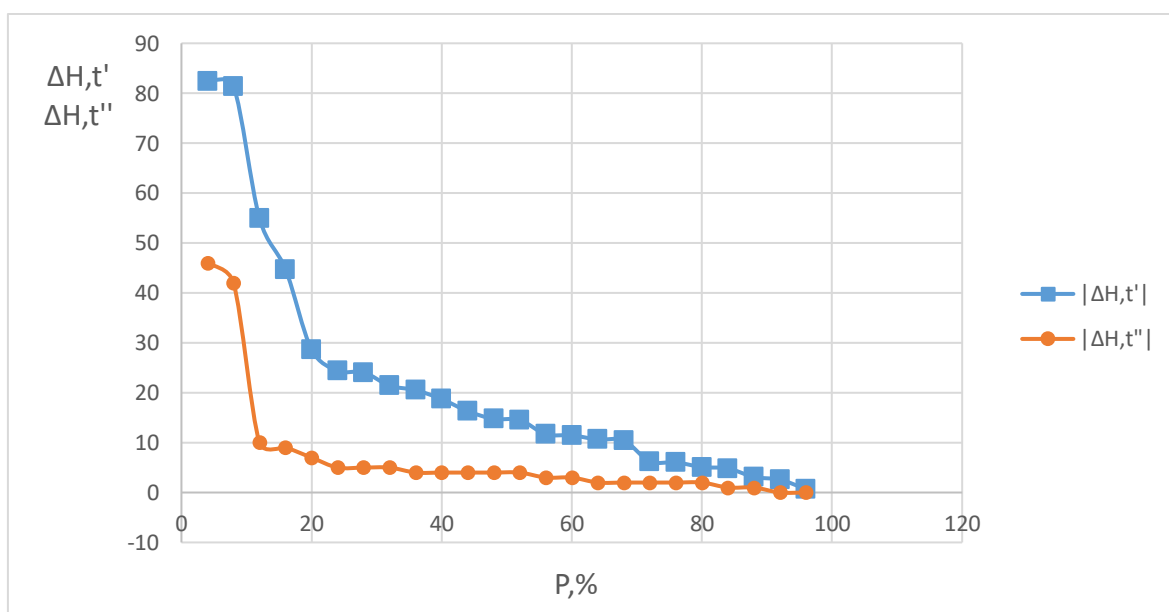


Рисунок 3.15 – Кривые обеспеченностей ошибок прогноза за характерные даты 2015 года на г/п р. Самур – с. Усучай.

4 Определение границ зон затопления и подтопления на р. Самур

Подводя итог, стоит упомянуть, что для горных рек скорее характерны завалы и прорывы следствием которых являются завальные наводнения, прорывные и транзитные паводки. Так завальные, а также ледниковые озера, и связанные с ними прорывные и транзитные паводки относятся к категории катастрофических явлений природы. В мировой практике имеется пример завального озера Иссык-Куль (Казахстан), которое прорвалось через 800 лет после образования.

В выпускной квалификационной работе рассматриваются ледники, потому что порой, этот разрушающий процесс связан с пульсацией ледников, которая характерна для периода активизации ледников.

Из истории р. Самур известны сильные ливневые дожди с сильными грозами, которые наблюдались 15 июля 1988 г. в верховьях р. Самура и на ледниках у истока реки (1905, 1947, 5–28 июня 1966, 16 июля 1988гг.) – часто это является «стимулирующим» фактором для возникновения вышеуказанных наводнений.

Другой пример, в 1905 г. в районе реки Дюльтичай (левый приток р. Самур) ночью при сильных интенсивных ливнях имели место обвалы, которые перекрыли реку, и образовалось завальное озеро того же названия. Через месяц вода прорвала завал, и 30-метровый водяной вал промчался вниз как транзитный паводок. На пути следования уничтожил посевы, разрушил мосты, затопил села Джинихи и Слугити. Спустя 42 года (1947 г.) снова случился обвал, и озеро заполнилось водой, а после прорыва уровень воды упал на 30 м. Вслед прошел катастрофический паводок, который на пути следования разрушил дороги, мосты и другие сооружения.

Спустя еще 19 лет (1966 г.) снова после сильного ливня озеро заполнилось водой (25–27 июня), но быстро прорвалось и ниже озера промчался 18-метровый водяной вал, который на транзитных участках реки

принес большие разрушения. Таким же было сильное катастрофическое транзитное наводнение на реке Ахтычай (правый приток р. Самур). Здесь после сильного интенсивного ливня прошел катастрофический дождевой паводок, максимальный расход воды был измерен по следам прошедшего паводка. Он составил 845 м³/с, а у впадения в р. Самур еще увеличился на 346 м³/с за счет расхода воды. С таким расходом паводок на транзитном участке от впадения р. Ахтычай до пункта Усухчай р. Самура расход воды уменьшился и составил 920 м³/с. Этот паводок нанес ущерб на общую сумму 8 млн рублей (по цене 1988 г.).

Таким образом характер наводнений в исследуемом горном районе отличается от затоплений, которые исследовались в выпускной квалификационной работе «Анализ и оценка зон затопления на водных объектах Ленинградской области», что вполне ожидаемо.

Выше рассмотрены природные причины наводнений, встречающихся в данном районе. К антропогенным причинам, в широком смысле относятся, прямо или косвенно: проведение различных гидротехнических мероприятий и разрушение плотин. А также, сведение лесов, осушение болот, промышленная и жилищная застройка – это приводит к изменению гидрологического режима рек за счёт увеличения поверхностной составляющей стока. При этом происходит уменьшение инфильтрующей способности почв и увеличивается интенсивность их смыва. Сокращается суммарное испарение из-за прекращения перехвата осадков лесной подстилкой и кронами деревьев. Происходит уменьшение инфильтрации из-за роста водонепроницаемых покрытий и застроек.

Основными характеристиками наводнения являются уровень подъема, расход и объем воды, площадь затопления, продолжительность, скорость течения и подъема уровня воды, состав водного потока и некоторые другие приведённые в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристики наводнений

Характеристика	Значение
Уровень подъема воды (H , см)	Показатель подъема воды относительно среднего многолетнего показателя уровня воды или нуля поста.
Расход воды (Q , м ³ /с)	Количество воды, протекающее через поперечное сечение реки в секунду
Объем воды (W , млн. м ³)	Показатель количества воды, находящийся в заданных пределах
Площадь затопления ($F_{\text{затоп}}$, км ²)	Размеры территории, покрытой водой
Продолжительность наводнения (t)	Время затопления территории, равной площади затопления.
Скорость течения воды (V м/с)	Скорость перемещения воды в единицу времени.
Скорость подъема уровня воды (V м/с)	Величина, характеризующая прирост уровня воды за определенный промежуток времени.
Состав водного потока	Качественная характеристика, перечень компонентов, находящихся в водном потоке.

К факторам, обуславливающим величины максимального уровня максимального расхода воды, для случая весеннего половодья, относятся следующие:

- запас воды в снежном покрове перед началом весеннего таяния;
- атмосферные осадки в период снеготаяния и половодья; осенне-зимнее увлажнение почвы к началу весеннего снеготаяния;
- глубина промерзания почвы к началу снеготаяния; ледяная корка на почве; интенсивность снеготаяния;
- сочетание волн — половодья крупных притоков бассейна; озерность, заболоченность и лесистость бассейна (эти факторы в отличие от перечисленных способствуют уменьшению максимального расхода).

При определении основных характеристик половодий на горных реках, кроме вышеперечисленных факторов, необходимо учитывать вертикальную зональность климата, среднюю высоту водосбора, величины уклонов рек.

Для получения расчётных уровней, существует несколько способов. Методы самые различные, от полевых измерений и обследований, до пространственного анализа и картографирования средствами ГИС. В силу отсутствия полевых исследований, было принято решение в данной работе использовались методы гидрологических обобщений и гидрологических расчетов. Следует отметить, что типовые методы гидрологических расчетов позволяют получить отметку наивысшего уровня только в расчетном створе.

Для выбранного района исследований, чтоб построить цифровую модель рельефа необходима крупномасштабная карта с сечением рельефа не более 0,5 м. Использование карт другого масштаба приводит к снижению надежности установления границ зоны затопления. В настоящее время, в большинстве своем стоит проблема отсутствия в свободном доступе крупномасштабных электронных топографических карт.

В ходе работы удалось построить границы зон затопления (приложение А, приложение Б), но в силу различных факторов они носят исключительно ориентировочный характер. Границы строились для обеспеченных уровней воды 1%, 5%, 10%, 25 % и 50 % (табл. 4.2). В большинстве случаев, в практике инженерных изысканий требуется только уровень воды 1% обеспеченности – остальные уровни на усмотрение заказчика. Уровни были получены по средствам гидрологических расчетов для замыкающего створа – р. Самур – с. Усухчай.

Таблица 4.2 – Обеспеченные УВ для створа р. Самур – с. Усухчай

Река-Пункт	Наивысшие уровни воды (см над "0" графика поста)					"0" графика поста
	1%	5%	10%	25%	50%	
р. Самур - с. Усухчай	540	427	412	356	301	824.26 м абс

Построение ЦМР основывалось на нанесении горизонталей, реперных отметок, линии русла реки и берегов. Для построения границ зон затоплений финальные абсолютные отметки высот были получены путем суммирования уровня воды заданной обеспеченности с нулем графика поста, таким образом приведены м БС.

В приложение А и приложение Б приведены предполагаемые границы затопления при уровне воды обеспеченностью от 1 % до 50 %. При наличии имеющихся данных и на основе проведенных расчетов, граница зон затоплений определена только для участка, ниже по течению реки, чем расчетный створ р. Самур – с. Усухчай. Линии обеспеченных уровней проходят почти в притык и увидеть разницу можно только при достаточном приближении (приложение Б), что вполне ожидаемо для горного района, в силу того, что расчленённый рельеф не дает подниматься уровню воды сильно выше и нет такого обозримого результата, как на равнинных реках. Предположительно, правый берег затапливается сильнее, чем левый и может даже доходить до городского поселения ниже по течению Новое Каракюре.

Заключение

Актуальность вопросов, связанных с повышением уровня воды и, как следствие, социально-экономическим последствиям, привела к желанию выявить особенности прогнозирования границ зон затоплений для таких сложный и специфичных горных рек. Исследования проводились на реке Самур, Республика Дагестан.

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

а) определение границ зон затопления является кропотливой, многоуровневой задачей, в большинстве случаев запрашивающей не только объемную, качественную и доступную гидрометеорологическую и картографическую информацию, но и индивидуальный подход к рекам и наличие надежного программного обеспечения

б) для горных районов кроме данных рельефа и антропогенной нагрузки, как минимум, необходимо учитывать ещё вертикальную зональность климата, среднюю высоту водосбора, величины уклонов рек и пр.

в) на выбранном участке, при имеющихся исходных данных, для периода дождевого паводка выбранный метод прогнозирования (МСУ) не подходит. При плавном изменении уровня воды – гидрографы выглядят лучше, но необходимо учитывать вышеназванные особенности горных рек

г) смоделированы предполагаемые границы зон затоплений для замыкающего створа при уровнях воды 1%, 5%, 10%, 25% и 50% обеспеченности.

В силу отсутствия надежности полученных результатов, данный вопрос подлежит дальнейшему, более глубокому рассмотрению.

Список используемых источников

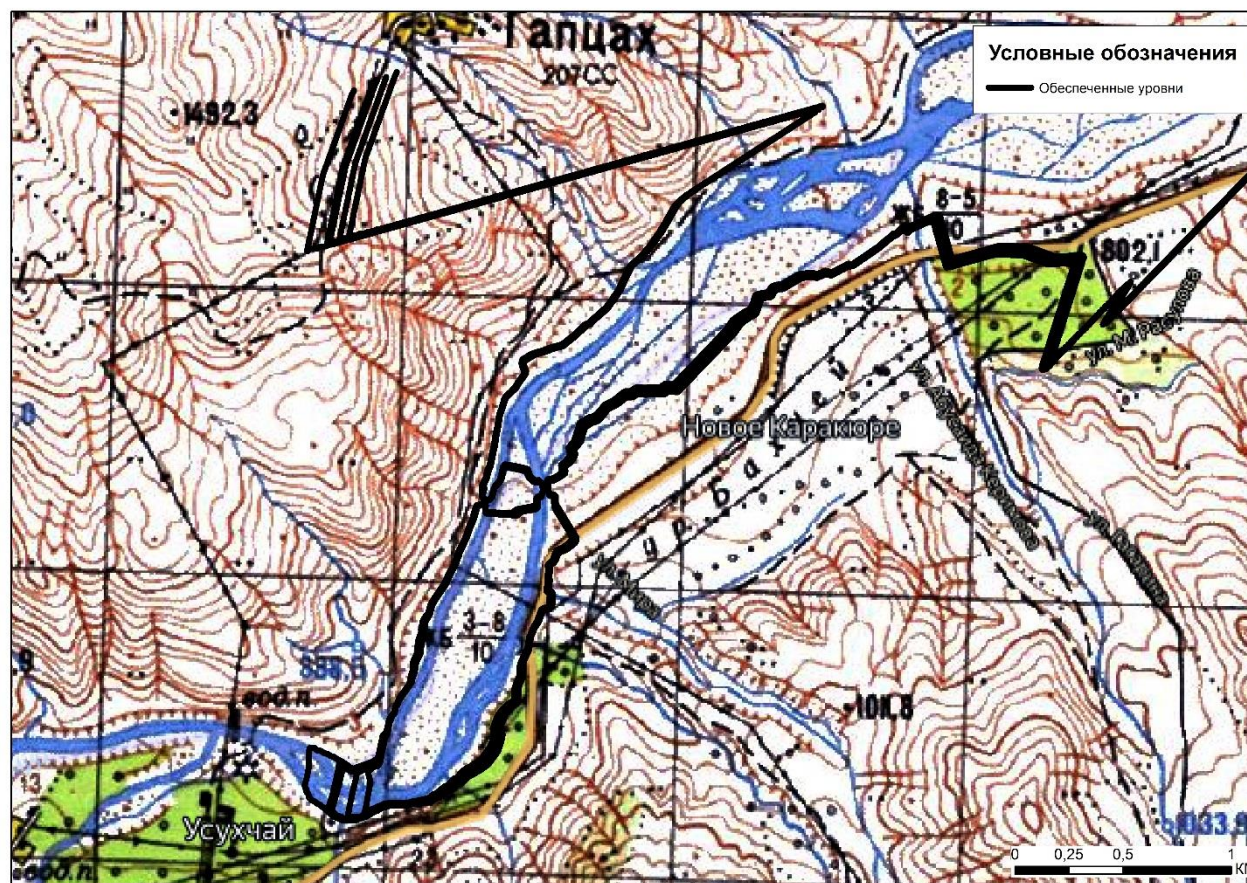
1. Гаврилова Т.В. Отчет о научно-исследовательской работе: Разработка методов долгосрочных прогнозов стока р. Самур / ГУ «Гидрометцентр России»; науч. рук. канд. географ. наук С.В. Борщ – Москва, 2009г. – 5.
2. Гидрологический словарь, Чеботарёв А.И., ст. 79.
3. ГОСТ Р 55201-2012 Национальный стандарт РФ.
4. Нормативно-правовые основы проектов определения границ зон затопления и существующие проблемы, статья Варенцова Н.А., Никифоров Д.А., Гранич П.С.
5. Цомая В. Ш. Катастрофические завальные наводнения, прорывные и транзитные паводки в условиях Закавказья и Дагестана и рекомендации по их предотвращению / Цомая В. Ш., Ахмедрабаданова Х.А., Китиашвили Е.Р. // Юг России: экология, развитие. – 2009. – №2. – с. 162 – 167.
6. Опасные природные процессы, А.В. Баринов, В. А. Седнев, А. Б. Шевчук, Г.Х. Харисов, Е. И. Кошечая, Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2009 г.
7. ГОСТ 22.0.03-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 2005.
8. К вопросу актуальности использования сведений о границах зон затопления в кадастровой оценке земель в населенных пунктах в Ленинградской области, Шандроха А.Н., Боголюбова А.А., в сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия Материалы V Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. 2018. С. 202-206.

9. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru>
10. Свод Правил 33–101–2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004
11. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений, ГГИ, Санкт-Петербург 2008 г.
12. Лабораторный практикум «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации», А.В. Сикан, Н.Г. Малышева, И.О. Винокуров, СПб: РГГМУ, 2014 г.
13. Самедов Ш. Г., Ибрагимова Т. И. Оценка качества водных ресурсов бассейна реки Самур // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, № 4, 2014. – С. 4–16.
14. Якубов Р. М. Данные по изучению антропогенных воздействий на Самур-Апшеронский канал и Джейранбатанское водохранилище // Бюллетень науки и практики, Т. 6, № 7, 2020. – С. 93–101. – Режим доступа: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/56/10>
15. Гаджиев М. К., Шахбанов Ш. Н., Шахбанов Д. Н. Экологическая ситуация в речных бассейнах Республики Дагестан // Неделя науки – 2015. Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 2015. – С. 220–222.
16. Османов Х. А., Круглова Д. Э. Влияние сезонных колебаний гидрохимического режима на экологию бассейна реки Самур // Известия Дагестанского Государственного Педагогического Университета. Естественные и точные науки, № 3 (8), 2009. – С. 40–44.
17. Абдулаев К. А., Атаев З. В. Характеристика ландшафтов горной части бассейна реки Самур // Известия Дагестанского Государственного

- Педагогического Университета. Естественные и точные науки, №1 (2), 2008. – С. 68–71.
18. Исмаилов Р. А. Изменение водопотребления р. Самур с целью его рационального использования, 2012. / [Электронный источник] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-vodopotrebleniya-r-samur-s-tselyu-ego-ratsionalnogo-ispolzovaniya>
19. Иманов Ф. А, Асадов М. Я. Оценка водных ресурсов и экологического состояния реки Самур (Восточный Кавказ) // География и природные ресурсы, № 3, 2011. – С. 156–160.
20. Набиев О. С. Растительность как индикатор почвенно-грунтовых условий бассейна реки Самур: автореф... дис. кан. наук: 03.00.16. – Махачкала, 2001. – 25 с.
21. Приложение 1 к «Положению об ОЯ» утверждённому приказом ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 26.02.2016 № 22с изменениями от 18.03.2016 № 34, 17.05.2016 № 69, 22.06.2016 № 81, 10.08.2016 № 104, 15.02.2017 № 15, 17.05.2017 № 60, 30.05.2017 № 65, 11.07.2017 № 84, 26.03.2019 № 23, 29.04.2019 № 41, 30.04.2019 № 43, 30.04.2019 № 44, 21.06.2019 № 70, 21.02.2020 № 17, 25.02.2020 № 21, 02.04.2021 № 57, 11.08.2021 № 157, 29.10.2021 № 207, 10.11.2021 № 210, 17.11.2021 № 216 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yugmeteo.donpac.ru/export/sites/default/.galleries/docs/criteria.pdf>
22. Водные ресурсы Дагестана: состояние и проблемы, отв.ред. И.М. Сайпулаев, Э.М. Эльдаров, Махачкала: Западно-Каспийское Басейновое водохозяйственное управление, 1996 г.
23. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны Терека, Кумы, Самура, Сулака. Часть 1: Реки и каналы, том 1, вып.26, книга 1 – уровни воды, книга 2 – расходы воды – Гидрометеоиздат.
24. Прогнозы стока горных рек, Ю.М. Георгиевский, С.В. Шаночкин, Ленинград: Ленинградский гидрометеорологический институт, 1987 г.

25. Гидрологические прогнозы, Ю.М. Георгиевский, С.В. Шаночкин, СПб: РГГМУ, 2007 г.
26. Вострякова Н.В. Опыт использования спутниковой информации для целей прогноза стока горных рек (на примере Верхней Оби и Верхнего Енисея) – Труды ГГИ, 1980, вып. 276.

Приложение А – Карта-схема ориентировочных границ зон затоплений при УВ от 1 до 50% обеспеченности для створа р. Самур – с. Усукчай.



Приложение Б – Приближенный фрагмент карты-схемы ориентировочных границ зон затоплений при УВ от 1 до 50 %
обеспеченности для створа р. Самур – с. Усухчай

