

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Факультет строительства и экологии
Кафедра водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине: «Гидрологические прогнозы»

на тему: «Расчёт гидрологических характеристик водотока»

Выполнил студент гр. ГЛ-**

Фамилия И.О.

Проверил:

д-р.техн.наук, профессор

Шарапов Н.М.

Чита 20**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»)

Факультет Строительства и экологии
Кафедра Водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности

ЗАДАНИЕ
на курсовой проект

по дисциплине Гидрологические прогнозы

Студенту группы ГЛ-** Фамилия Имя Отчество
(фамилия, имя, отчество)

по специальности 05.03.04 Гидрометеорология

- 1 Тема курсового проекта: Расчет гидрологических характеристик водотока
- 2 Срок подачи студентом законченной работы: ** ***** 20** года
- 3 Исходные данные к работе:
 - общие сведения о водном объекте (р. Чикой г/п с.Гремячка);
 - среднемноголетние расходы р. Чикой г/п с.Гремячка за 10 лет (2008-2018);
 - модули среднегодового стока за 2008-2018 гг. р. Чикой г/п с.Гремячка;
 - ежедневные уровни для года максимальных расходов воды р. Чикой г/п с.Гремячка (июнь 2010 года) за имеющийся ряд наблюдений;
 - ежедневные уровни воды р. Чикой - г/п с. Поворот за июль месяц максимального года расходов (2012 г.);
 - ежедневные расходы воды за июль месяц по гидропостам р. Чикой-Гремячка; р. Чикой-Поворот; р. Чикой-Семиозерье.
- 4 Перечень подлежащих разработке в курсовой работе вопросов:
 - а) получить расчётные формулы для прогноза уровней воды в период спада половодья;
 - б) экстраполяция уровней или расходов воды на основе учета закономерности хода уровней или расходов воды в рассматриваемом створе в течение предшествующего периода времени;
 - в) определить русловые запасы воды р. Чикой на участке Гремячка-Поворот. Приток - р. Менза – с. Укыр. Построить график зависимости русловых запасов от расходов воды на основе уравнения водного баланса;

г) определить время добегания р. Чикой от г/п с. Гремячка до г/п с. Поворот;
5 Перечень графического материала (если имеется):

Дата выдачи задания: «**» февраля 20** года

Руководитель курсовой работы _____ Н.М. Шарапов

Задание принял к исполнению

«11» февраля 2021 года

Подпись студента _____ И.О. Фамилия

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Факультет Строительства и экологии

Кафедра Водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовой работе

по дисциплине Гидрологические прогнозы
по специальности 05.03.04 Гидрометеорология

на тему: Расчет гидрологических характеристик водотока

Выполнил студент группы ГЛ-17 Фомина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель курсовой работы _____ Н.М. Шарапов

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	7
1.1 История развития гидрологических прогнозов	11
1.2 Классификация и виды гидрологических прогнозов	18
1.3 Методы гидрологических прогнозов	18
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ПРОЕКТА	20
2.1. Содержание методической записки	21
2.2. Определение допустимой погрешности гидрологических прогнозов	24
2.3. Допустимая погрешность прогнозов толщины льда	29
2.4. Допустимая погрешность прогнозов предельных значений гидрологических явлений	43
2.5. Критерии применимости и качества методик гидрологических прогнозов	43
3. СПОСОБЫ ПРОГНОЗА ПО СООТВЕТСТВЕННЫМ УРОВНЯМ И РАСХОДАМ ВОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ПАРАМЕТРОВ	55
3.1. Способы прогноза на бесприточных и слабоприточных участках реки	62
3.1.1. Определение соответственных уровней (расходов) воды двух постов и времени их добегания на участке по характерным точкам графика колебаний уровня (расхода) воды	65
3.1.2. Построение графика связи между соответственными уровнями двух постов и определение времени добегания воды на участке по кривым расхода и таблицам наблюдений за уровнем воды	70
3.2. Определение времени добегания	70

4. КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ УРОВНЕЙ РАСХОДОВ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПАВОДОЧНОЙ ВОЛНЫ	77
4.1. Прогнозы расходов и уровней воды по методу тенденций	79
4.2. Способы прогноза по соответственным уровням и расходам воды	88
4.2.2. Прогноз уровней и расходов воды на приточных участках рек	92
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ СРЕДНЕГОДОВОГО МОДУЛЯ СТОКА РЕКИ С КОРОТКИМ РЯДОМ НАБЛЮДЕНИЙ	93
5.1. Прогнозы стока по русловым запасам воды. Построение зависимости русловых запасов от расхода воды на основе уравнения водного баланса	95
5.2. Приведение короткого ряда наблюдения к длительному. Графический способ	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	

ВВЕДЕНИЕ

Вода – одно из наиболее важных для человека веществ на земном шаре, без которого невозможна жизнь. Этим, однако, не исчерпывается роль воды в жизни человека. Кроме чисто биологического ее значения, вода играла и играет громадную роль в развитии общественной жизни человечества, в его хозяйственной и культурной деятельности, как средство сообщения, движущая сила, источник получения пищи и, наконец, как вещество, без которого не может обойтись ни один вид современного производства.

Вода в природе встречается во всех трех агрегатных состояниях: жидком, твердом и газообразном. Жидкая вода на поверхности Земли образует океаны, моря, реки и озера. Большое ее количество сосредоточено также в верхних слоях земной коры в виде запасов подземных вод. В твердом состоянии вода распространена в виде льда и снега и, наконец, в газообразном – в виде пара в атмосфере и в порах грунта. Как всякая другая наука, гидрология призвана решать ряд практических задач, возникающих в процессе развития и хозяйственной деятельности общества. Одной из важнейших сторон практического приложения гидрологии являются гидрологические прогнозы.

Слово «прогноз» составлено из двух греческих слов: «про», что означает вперед, и «гнозис», что означает знание. Таким образом, в буквальном смысле слово «прогноз» означает заблаговременное знание, т. е. предвидение, предсказание развития явлений или событий. Под гидрологическими прогнозами, в частности, понимается научно обоснованное предсказание гидрологических явлений, т. е. тех природных явлений, которые возникают и сменяют друг друга на реках и озерах в процессе сезонных и других изменений погоды.

Хотя сама по себе проблема заблаговременного предсказания явлений природы, в том числе и явлений на реках, с давних пор привлекала ученых, однако возможность ее научного решения появилась только в сравнительно недавнее время, с тех пор как гидрология из науки описательной, какой она была на первом

этапе своего развития, стала превращаться в науку, способную не только объяснить, но и численно выразить то или другое явление.

Все гидрологические явления на реках и озерах тесно связаны с климатом и условиями погоды на территории их бассейнов, характером рельефа, растительным и почвенным покровом бассейнов, т. е. с географической средой. Чтобы знать закономерности развития этих явлений, их взаимосвязь с другими явлениями природы, необходимо знание многих природных процессов. Вот почему гидрология, опираясь на общие законы физики, тесно связана также с другими естественными науками и в первую очередь с метеорологией и климатологией, изучающими погоду и климат, с гидрогеологией, изучающей подземные воды, с почвоведением, геоморфологией, изучающей формы рельефа земной поверхности, и др.

Сложность гидрологических явлений и трудность постановки точных и детальных наблюдений на обширных пространствах естественных водосборов являются главной причиной того, что гидрология как наука оформилась сравнительно недавно и не располагает пока еще возможностью рассчитывать эти явления с большой точностью. Это наложило свой отпечаток и на современное понимание термина «гидрологический прогноз», и на практические приемы прогнозов.

Гидрологический прогноз отнюдь не является точным предвычислением и непременно содержит в себе элемент научно обоснованной вероятности. Тем не менее современная гидрология может уже с определенной заблаговременностью предвидеть, каким будет половодье на реках в будущую весну, когда произойдет вскрытие или замерзание рек, и ряд других явлений. И хотя точность многих гидрологических прогнозов еще не очень высока, значение этих достижений гидрологии трудно переоценить.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Гидрологические прогнозы – это отрасль гидрологии суши о научно обоснованных методах и способах предвычисления гидрологического режима рек. Гидрологическими прогнозами называют также результаты предвычисления или предсказания, полученные в результате различных методов прогнозирования.

Научно обоснованные предсказания (прогнозы) гидрологического режима рек требуются в настоящее время для многих отраслей народного хозяйства, так или иначе связанных с использованием водных ресурсов. Особенно широко используются гидрологические прогнозы для планирования работы гидроэлектрических станций, систем промышленного и бытового водоснабжения и орошения, а также для обеспечения и планирования судоходства и лесосплава.

Для каждой из этих отраслей народного хозяйства требуются различные виды прогнозов в зависимости от специфики производства и требований эксплуатации. Так, например, для обеспечения судоходства требуется иметь прогнозы уровня воды на судоходных трассах, главным образом в районах мелководных перекатов. Для планирования работы гидроэлектрических станций, систем промышленного водоснабжения и орошения требуется иметь прогнозы средних расходов воды за месяц, сезон и год для обоснованного регулирования водохранилищ и планирования полезной отдачи в различные периоды года. Наконец, для планирования лесосплава большой интерес представляют прогнозы среднесуточных уровней в периоды прохождения весеннего половодья, когда обычно производится массовый лесосплав по малым рекам лесных районов.

Помимо основной задачи обеспечения текущего планирования водных ресурсов, гидрологические прогнозы широко используются для предупреждения об опасных гидрологических явлениях, в частности для предупреждения о прохождении паводков, о наводнениях, зажорах и заторах, начале весеннего ледохода и т.д. Для районов с развитой промышленностью и большой плотностью населения в долинах рек подобные предупреждения, в особенности о

катастрофических паводках, представляют большую ценность, так как помогают своевременно подготовиться и по возможности уменьшить ущерб от разливов рек.

Развитие гидрологических прогнозов как чисто прикладной отрасли знаний, предназначенной для удовлетворения практических запросов народного хозяйства, определялось и определяется двумя факторам:

- 1) Уровнем развития и организацией народного хозяйства;
- 2) Развитием смежных дисциплин гидрометеорологического цикла.

Необходимость в разработке и практическом использовании гидрологических прогнозов могла возникнуть только на определенном уровне развития народного хозяйства (наличие развитого судоходства и концентрация крупных промышленных и гидрологических сооружений в долинах рек), когда потери и убытки от неучета возможных колебаний гидрологического режима стали весьма значительными.

Особенно велика роль гидрологических прогнозов в условиях планирования народного хозяйства.

Указанными выше факторами – уровнем развития народного хозяйства и смежных гидрометеорологических дисциплин – объясняется сравнительная молодость гидрологических прогнозов.

1.1 История развития гидрологических прогнозов

Первая попытка разработки гидрологического прогноза была сделана во Франции; в 1830 г. Французское правительство поручило группе инженеров и в том числе инженеру Бельграну разработать метод предсказания паводков на р. Сена, которые причиняли значительный ущерб расположенным в долине реки жилым массивам и промышленным сооружениям. Отсутствие в то время достаточно длинных рядов наблюдений, слабое развитие общей гидрологии и отсутствие быстрых средств связи привели к тому, что Бельгран только через 20

лет, в 1850 г., смог дать первый пробных прогноз дождевого паводка для узкого круга специалистов.

Во второй половине XIX века развитие гидропрогнозов по мере развития судоходства и гидротехнического строительства, начало проходить в более быстром темпе. В период с 1853 по 1876 г. возникают службы гидроинформаций и прогнозов на отдельных реках Франции (рр. Луара, Сена, Масс и др.); такие же службы возникают в 1886 г. в Германии (рр. Одер, Эльба, Рейн), в 1904 г. – в Австрии, Швеции, Италии и т.д.

В России первые попытки научного прогноза связаны с развитием водного транспорта. Так, в 1893 г. Казанский водный округ МПС ввел регулярные телеграфные информации по уровню воды и глубинам на перекатах в 16 пунктах на р. Волга; данные наблюдений на этих пунктах ежедневно передавались в г. Казань и использовались для информации судоводителей об условиях плавания на реке. В дальнейшем материалы гидроинформации в бассейне р. Волги были использованы В.Г. Клейбером, Л.П. Квицинским, Д.Д. Гнусиным и другими исследователями для разработки способов прогноза уровня воды и глубины на перекатах. Разработанные этими исследованиями способы прогноза были эффективными и передовыми по сравнению с аналогичными работами за рубежом. Поэтому, когда в 1896 г. Академия наук официально обратилась к председателю всероссийского съезда по водным путям с просьбой об организации исследований возможности предвидения уровней и глубины на судоходных реках, председатель съезда «с полным основанием констатировал, что исследования отечественных ученых уже создали возможность предвидения уровней и глубины».

В последующие годы до 1917 г. работа в области гидропрогнозов в России ограничивалась в основном разработкой предсказаний уровня на крупных реках (Днепр, Зап. Двина) для обеспечения судоходства. Подобные предсказания давались, как правило, по так называемому методу соответственных уровней, т.е. по данным об уровнях на верхних водомерных постах. Других методов

прогнозирования, которые могли бы быть использованы на малых и средних реках, и тем более методов долгосрочного прогнозирования в то время еще не существовало, так как гидрология рек находилась в зачаточном состоянии, а ряды гидрометеорологических наблюдений были еще очень короткими. Значительным толчком к дальнейшему развитию гидропрогнозов в России послужило катастрофически высокое наводнение на реках центра Европейской части России весной 1908 г., которое нанесло огромный ущерб (только в Москве убытки равняли 20 млн. золотых рублей) и оставило без крова 50 тысяч человек. После этого наводнения, привлечшего к проблеме гидрологического предсказания внимание широкой общественности, появилось несколько интересных исследований А.И. Воейкова, Е.А. Гейнца, М.А. Рыкачева и др., в которых излагались причины и возможности предсказания половодья на реках Европейской части России. Наибольший интерес из этих исследований представляют работы А.И. Воейкова, в которых обосновывается необходимость организации в России службы гидрометеорологических прогнозов и проведения широких работ по исследованию процессов снеготаяния и формирования весеннего половодья.

Предсказание половодий, по А.И. Воейкову, может быть получено только в результате широко организованных наблюдений над распределением на площади бассейна снежного покрова и дождевых осадков, а также исследований процессов таяния снега, добегания талых и дождевых вод и их потерь. «Для предсказания, - отмечает А.И. Воейков, - нужно знать условия самой реки, рельефов всего бассейна, проницаемость пород, его образующих, и условия растительного покрова».

Обобщая изложенное, следует отметить, что в дореволюционный период гидропрогнозы ограничивались в основном составлением простейших видов предсказаний уровня воды на крупных судоходных реках. Предсказания эти разрабатывались отдельными специалистами от случая к случаю, вследствие чего

интенсивность развития и эффективность практического использования гидрологических прогнозов в дореволюционный период были невелики.

Октябрьская революция, давшая мощный толчок развитию народного хозяйства страны, сразу же сказалась на развитии всего комплекса гидрологических дисциплин. Поставленная В.И. Лениным задача электрификации России вызвала необходимость всестороннего исследования водных ресурсов и создания методик гидрологических расчетов и прогнозов. Вот почему уже в 1919 г., несмотря на массу стоящих перед молодым советским государством жизненно важных проблем военного и хозяйственного строительства, Совет Народных Комиссаров приняли решение об организации Государственного гидрологического института для научного руководства исследованиями по использованию водных ресурсов страны. Работа этого института, объединившего ведущих специалистов по различным отраслям геофизики, ускорила формирование гидрологии и, следовательно, содействовала быстрейшему развитию гидрологических прогнозов.

Историю развития гидропрогнозов от момента организации Государственного гидрологического института (ГГИ) до наших дней можно разбить на три этапа:

- 1) С 1919 по 1930 г.;
- 2) С 1930 по 1943 г.;
- 3) С 1943 по настоящее время.

Первый из указанных периодов развития – с 1919 по 1930 г. – характеризуется в основном продолжением работы по накоплению материалов гидрометеорологических наблюдений и разработке основ гидрологии суши. Исследования непосредственно для целей прогноза в этот период, хотя и более значительные по сравнению с прошлым, велись все же в ограниченных масштабах или были направлены к решению частных задач. Оперативные прогнозы выпускались еще нерегулярно.

Значительные исследования проводились в это время в Средней Азии для улучшения эксплуатации оросительных систем; поэтому Среднюю Азию называют иногда родиной отечественной гидрологии. Вместе с тем Средняя Азия может считаться и родиной отечественных прогнозов водного режима: в 1911 г. здесь были впервые начаты Э.М. Ольдекопом [19] исследования, показавшие реальные возможности предсказания расходов воды в реках по данным об осадках в горной части их бассейнов и температуре воздуха. В соответствии с этими исследованиями Э.М. Ольдекоп, а в 1924 г. Л. К. Давыдов [10] разработали схему организации наблюдений, необходимых для предсказания водного режима рек Средней Азии.

Первая работа в области гидропрогнозов была выполнена в Государственном гидрологическом институте, где был разработан метод прогноза весеннего половодья в бассейнах рр. Волга, Дон, Днепр, Западная Двина, Волхонка, Свирь, Северная Двина и Сухона. Прогноз составлялся на основании анкетных данных сведений о высоте снежного покрова к началу снеготаяния.

Второй период развития гидропрогнозов, начавшийся с момента организации этой службы, характеризуется интенсивным развитием долгосрочных прогнозов (главным образом весеннего половодья) и совершенствованием метода собственных уровней. Гидрологические прогнозы стали широко использоваться в это время для удовлетворения растущих запросов народного хозяйства, для планирования работы гидростанций, перевозок, лесосплавов, орошения и т.д. В конце периода – с 1941 по 1943 г. – прогнозы стали применяться (правда, в весьма ограниченном количестве) для обеспечения боевых действий на фронтах Великой Отечественной войны.

Наконец, в период с 1931 по 1943 г. появился ряд работ, послуживших фундаментом для последующего развития методики краткосрочных прогнозов стока на малых и средних реках; до этого времени подобных прогнозов еще не существовало.

В 1931 г. появилась работа М.А. Великанова [33], в которой впервые были сформулированы основные принципы метода изохрон. В дальнейшем этот метод получил широкое развитие и в настоящее время является одним из перспективных методов краткосрочного прогнозирования.

В 1935 г. Б.А. Аполлов [34] впервые излагает принцип нового метода прогнозирования – метода водного баланса, также оказавшегося весьма плодотворным.

Третий, современный этап развития гидропрогнозов, характеризуется прежде всего большой интенсивностью научно-исследовательской работы, проводимой в Центральном институте прогнозов, Государственном гидрологическом институте, Киевском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте и местных управлениях гидрометеорологической службы.

Значительная часть всех исследований в последний период времени сконцентрирована на проблеме краткосрочного прогноза паводков метода изохрон. Этой проблеме посвящены, в частности, многочисленные работы А.В. Огиевского, Г.П. Калинина, В.Д. Комарова, Б.П. Казанцева и других исследователей. Многие из этих работ позволили выявить новые методологические возможности для генетического анализа формирований стока, а также реальные пути уточнения и увеличения заблаговременности гидрологических прогнозов. Особенно плодотворными для общего развития прогнозов оказались выдвинутый А.В. Огиевским принцип бассейна-индикатора и предложение Г.П. Калинина об использовании для целей прогноза данных об объеме воды и суммарном притоке в русловой сети бассейна.

Второй значительной проблемой, которая решилась и решается в последние годы, является разработка методики расчета снеготаяния и потерь талого стока. Этой теме были посвящены многочисленные работы П.П. Кузьмина, Е.Г. Попова, В.Д. Комарова и других исследователей. Наконец, третьей центральной темой научно-исследовательской работы последнего периода является разработка

прогнозов стока методом водного баланса. В настоящее время тема эта (так же, вероятно, как и все предыдущие) еще далека от полного решения. Однако несомненный успех, достигнутый Г.П. Калининым в разработке прогнозов по объему воды в русловой сети, а также хорошие результаты, полученные Т.Т. Макаровой при использовании метода водного баланса для прогноза половодья р. Молога, подтверждают перспективность и актуальность этого метода прогнозирования.

В целом научно-исследовательская работа последних лет направлена к одной цели – повышению точности и заблаговременности гидрологических прогнозов. Усилиями гидрологов-прогнозистов и прежде всего ведущего коллектива Центрального института прогнозов существенно развита теория гидропрогнозов, особенно краткосрочных, и созданы предпосылки для более строгого теоретического решения проблемы долгосрочного прогнозирования стока.

Своевременные прогнозы являются количественными. В них указывается конкретная дата и величина прогнозируемого элемента, а также величина допустимой погрешности прогноза.

Несмотря на очевидные успехи развития, некоторые виды прогнозов, главным образом долгосрочные, остаются еще эмпирическими по своему существу, и точность их отстает от требований практики. Это объясняется, во-первых, молодостью не только гидрологических прогнозов, но и самой гидрологии, во-вторых, исключительной сложностью процесса стока с площади водосбора.

1.2 Классификация и виды гидрологических прогнозов

Сложность процесса стока объясняется, прежде всего, наличием бесконечно большого числа факторов, определяющих движение частицы воды на пути от места выпадения дождя до замыкающего створа реки.

Наличие большого числа определяющих факторов и невозможность их полного учета делают понятным сложность задачи, стоящей перед теоретиками-прогнозистами и приводят к выводу о неизбежности элементов эмпиризма в гидропрогнозах, так как невозможно построить систему дифференциальных уравнений, полностью описывающих связь прогнозируемого элемента со всеми определяющими его факторами.

Существующие в настоящее время речные гидрологические прогнозы можно классифицировать по трем основным признакам:

1) По виду реки:

- Прогнозы на равнинных реках;
- Прогнозы на горных реках.

2) По прогнозируемому элементу:

- Прогнозы стока (уровня, расхода);
- Прогнозы ледовых явлений.

3) По заблаговременности прогноза:

- Краткосрочные прогнозы – с заблаговременностью до 10 суток;
- Долгосрочные прогнозы – с заблаговременности от 10 суток до 1 года;
- Сверхдолгосрочные прогнозы - с заблаговременностью от 1 года и

более.

4) По территориальному признаку:

- Локальные, или местные;
- Фоновые, или районные.

Классификация по виду реки объясняется различными условиями формирования гидрологических процессов на равнинных и горных реках. В частности, летне-осенний сток на горных реках формируется за счет таяния ледников и снега в горах выше снеговой линии и, следовательно, определяется температурой воздуха, в то время как на равнинных реках летне-осенний сток определяется запасом грунтовых вод и осадками на площади водосбора, т.е. от температуры воздуха не зависит.

Классификация по второму признаку – по прогнозируемому элементу – объясняется различием факторов, определяющих формирование стока и ледяных явлений и, следовательно, различием методов их прогнозирования.

Классификация по заблаговременности прогнозов является условной и определяется уровнем развития гидропрогнозов особенностями существующей системы их оценки.

Наконец, подразделение прогнозов на локальные и фоновые исходит от площади, охватываемой прогнозом. В первом случае подразумеваются прогнозы для отдельных пунктов или участков рек, во втором – прогнозы средних величин стока для какой-либо территории.

В основу классификации существующих гидрологических прогнозов могут быть положены четыре основных признака:

- 1)заблаговременность прогнозов;
- 2)предсказываемые явления и элементы режима;
- 3)методы предвычисления;
- 4)целевое назначение прогнозов.

Каждый из этих признаков позволяет разделить прогнозы на несколько видов.

По признаку заблаговременности гидрологические прогнозы делятся на:

- а) долгосрочные;
- б) краткосрочные;
- в) экстренные предупреждения об опасных явлениях.

Условно к категории краткосрочных прогнозов принято относить прогнозы, заблаговременность которых не превышает 10–15 дней. Заблаговременность долгосрочных гидрологических прогнозов может достигать нескольких месяцев.

В зависимости от предсказываемых явлений все гидрологические прогнозы делятся на:

- а) прогнозы элементов водного режима (водные прогнозы);

б) прогнозы элементов ледового режима (ледовые прогнозы).

Каждый из этих видов прогнозов по признаку заблаговременности делится соответственно на долгосрочные и краткосрочные.

Основными элементами водного режима, предсказание которых представляет наибольший интерес, являются:

- сток или средние расходы воды за различные периоды времени (за паводок, сезон, декаду, месяц, квартал);

- максимальный уровень (расход) половодья и паводков и время их наступления;

- распределение стока половодья или паводка во времени;

- максимальный уровень наполнения озер и время его наступления;

- уровни воды судоходных рек;

- высота ветровых волн на озерах и водохранилищах. Основными элементами ледового режима являются:

- даты появления плавучего льда;

- даты ледостава;

- толщина льда;

- даты вскрытия;

- даты очищения ото льда озер и водохранилищ.

1.3 Методы гидрологических прогнозов

Применяемые в настоящее время методы прогнозов можно разделить на четыре основные группы.

1.Методы, вытекающие из законов движения воды в руслах. К ним относятся методы гидродинамики и все приближенные способы расчета движения и трансформации паводков в русловой сети, являющиеся основой краткосрочных прогнозов расходов и уровней воды. Исходными данными для этих прогнозов являются материалы гидрологических наблюдений.

2. Методы, вытекающие из анализа гидрологических и метеорологических процессов, происходящих в речных бассейнах. К ним относятся воднобалансовые методы прогнозов стока половодья и паводков, методы расчета гидрографа паводков и др.

3. Методы, вытекающие из анализа процессов теплообмена, происходящих в реках, озерах и водохранилищах под влиянием гидрометеорологических факторов. Сюда относятся методы приближенного расчета теплообмена между водой и атмосферой или льдом и атмосферой, являющиеся основой краткосрочных прогнозов замерзания и вскрытия рек, нарастания и стаивания льда.

4. Методы, вытекающие из анализа процессов атмосферной циркуляции, обуславливающих территориальное распределение сроков ледовых явлений или количества осадков. Такого рода методы, применяемые, например, в долгосрочных ледовых прогнозах, тесно связаны с синоптической метеорологией и часто называются метеосиноптическими методами гидрологических прогнозов.

По целевому назначению все гидрологические прогнозы можно разделить на:

а) прогнозы общего пользования;

б) специализированные прогнозы для различных отраслей народного хозяйства.

К первой группе относятся прогнозы, представляющие общий интерес, например, прогнозы максимального уровня половодья и паводков, предупреждения о наводнениях. Специализированные прогнозы учитывают специфику требований к ним таких отраслей народного хозяйства, как гидроэнергетика, водный транспорт, орошаемое земледелие и др.

Каждое из приведенных делений прогнозов имеет свои преимущества и недостатки. Однако в совокупности они дают достаточно полное представление о видах и методических основах существующих гидрологических прогнозов.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ПРОЕКТА

Разработка методики прогноза базируется на общих теоретических положениях гидрологии и анализе процессов формирования предсказываемого явления в конкретных условиях данного бассейна, участка или створа реки, озера или водохранилища.

Разработка практических методов прогнозирования требует различных подходов. Следует различать общие методы решения, основанные на физическом анализе процессов, определяющие данное явление, и частные решения, применительно к конкретному участку реки или данному речному бассейну. В настоящее время прогнозирование в гидрологии можно разделить на четыре основные группы:

- методы, основанные на законах движения воды в руслах. К ним относятся все приближенные и гидродинамические методы расчета движения и трансформации паводочных волн;

- методы, основанные на анализе гидрологических и метеорологических процессов, происходящих в речных бассейнах. К этой группе относятся воднобалансовые методы прогноза стока, основанные на использовании данных гидрометеорологических наблюдений об осадках, запасе воды в снежном покрове, влажности почвы, грунтовых водах и других факторах. Важную роль в практической разработке этих методов играет корреляционный анализ эмпирических данных применительно к каждому конкретному речному бассейну;

- методы, основанные на анализе процессов теплообмена, происходящих в реках и озерах под влиянием метеорологических и гидрологических факторов. В эту группу входят методы, которые служат основой для краткосрочных ледовых прогнозов;

- методы, основанные на анализе процессов атмосферной циркуляции. Такой подход применяется в долгосрочных прогнозах ледовых явлений. Он

основан на корреляции сроков замерзания рек с характеристиками атмосферной циркуляции.

Завершающим этапом разработки методики прогноза является составление методической записки.

2.1. Методическое пособие по содержанию пояснительной записки по гидрологическим прогнозам

Имеется ряд требований в отношении построения методической записки. Содержание ее должно быть таким, чтобы любой специалист, пользуясь запиской, мог самостоятельно составлять прогнозы. Содержание методической записки зависит в каждом конкретном случае от характера предсказываемого явления и степени сложности методики прогноза, включает в себя следующие разделы:

1. Предисловие.
2. Характеристика рассматриваемого гидрологического явления и физико-географические условия территории водосбора.
3. Характеристика данных гидрометеорологических наблюдений и приемы их обработки.
4. Физические основы и теоретические предпосылки методики прогноза.
5. Расчетные приемы, построение зависимостей для прогнозов и их оценка.
6. Порядок составления прогнозов.
7. Приложения.

Краткое содержание основных разделов

Предисловие. В предисловии должны содержаться сведения о народнохозяйственной значимости данного параметра и характеристики гидрологического режима водного объекта, его прогноза, общей характеристике и оценке предшествующих проработок, если таковые были, и другие пояснительные сведения по усмотрению автора методической записки. Кроме

того, отмечаются имевшие место при выполнении работы трудности в отношении достаточности и надежности данных гидрометеорологических наблюдений и указываются все исполнители и участники работы.

Характеристика рассматриваемого гидрологического явления и физико-географические условия территории водосбора. В общих чертах дается характеристика предсказываемого гидрологического явления (физической сущности), развития во времени и изменчивости в многолетнем разрезе. Кроме этого, приводится краткая физико-географическая характеристика района или речного бассейна лишь в той мере, в которой она имеет непосредственное отношение к рассматриваемому явлению.

При разработке методики прогноза водного режима с учетом процессов происходящих на водосборе, в первую очередь должны быть включены следующие сведения:

- краткая климатическая характеристика, включающая общие особенности развития рассматриваемого гидрологического явления во времени и по территории речного бассейна;

- площадь, форма водосбора и основные особенности рельефа, определяющие условия стока, задержания воды на водосборе и т. д.;

- доля площади бассейна, занятая лесами, озерами и болотами, их распределение по водосбору;

- время добегания воды от разных частей водосбора до замыкающего створа;

- впитывающая и инфильтрационная способность почво-грунтов в различных частях бассейна;

- глубина залегания подземных вод и общие сведения об их режиме;

- гидротехнические сооружения на реках бассейна и их влияние на гидрологический режим реки в замыкающем створе.

При разработке методики прогноза ледового режима дается характеристика формирования предсказываемого явления во времени и по территории интересующего района в многолетнем разрезе, а также излагаются общие

сведения о влиянии имеющихся гидротехнических сооружений на ледовый режим.

Характеристика данных гидрометеорологических наблюдений и приемы их обработки. Здесь излагаются:

- наличие, полнота и качество данных гидрометеорологических наблюдений;
- способы обработки данных гидрометеорологических наблюдений в целях получения характеристик тех или иных элементов в целом для речного бассейна;
- различные приемы и методы по восстановлению пропусков наблюдений, удлинения рядов и оценки репрезентативности наблюдений;
- результаты обработки данных гидрометеорологических наблюдений.

Физические основы и теоретические предпосылки методики прогноза. В разделе излагаются:

- основные особенности формирования явления, установленные анализом проведенных исследований в этой области;
- основные факторы, формирующие рассматриваемое явление;
- теоретические предпосылки и рабочая гипотеза, положенные в основу разработки методики прогноза.

Расчетные приемы, построение зависимостей для прогнозов и их оценка. Дается подробное описание и обоснование приемов расчета с таблицами и графиками к данному бассейну. Вначале рассматриваются расчетные зависимости, которые выражают связь прогнозируемого явления со всеми основными обуславливающими его факторами, как известными, так и неизвестными к моменту составления прогноза. При анализе зависимостей особое внимание должно быть уделено рассмотрению причин, резко отличающихся от общей закономерности случаев и их вероятности. В заключение приводится оценка зависимостей с точки зрения заблаговременности прогнозов, условий применимости и их точности.

Порядок составления прогнозов. В четкой и ясной форме излагается последовательность составления прогнозов по разработанной методике с обязательной иллюстрацией использования каждой зависимости в практике. При этом в каждом случае обязательно указываются:

- дата составления прогноза;
- данные, необходимые для составления прогноза;
- порядок подсчета всех данных гидрометеорологических наблюдений, входящих в зависимость, с обязательным указанием, по каким пунктам и каким образом они подсчитываются. В том случае, когда данные используются по большому числу пунктов гидрометеорологических наблюдений, целесообразно их перечень приводить не в тексте, а в сводной таблице.

Данные гидрометеорологических наблюдений. На стадии разработки методики прогноза следует принимать во внимание различия в требованиях к данным гидрометеорологических наблюдений при разных способах прогнозирования. Чтобы получить репрезентативный ряд возможных сочетаний, желательно иметь период наблюдений не менее чем за 30 лет. Гидрологический анализ данных гидрометеорологических наблюдений включает:

- их наличие, полноту и качество;
- различные приемы и методы по восстановлению пропусков данных гидрометеорологических наблюдений, удлинения их рядов и оценки репрезентативности;
- способы обработки данных гидрометеорологических наблюдений;
- результаты обработки данных гидрометеорологических наблюдений.

Характеристика водосбора. Обзор состояния водосбора может давать его детальное описание или, если это невозможно, освещать его основные гидрологические свойства. Примером такого обзора может служить описание почв или геологических свойств водосбора, которые определяют закономерности стока.

Характеристика речного русла. Многие гидрологические модели включают в себя расчеты руслового и озерного регулирования. Там, где эти расчеты основаны на принципах гидравлики, должны быть известны физические характеристики речного русла, т.е. поперечные и продольные сечения и т.д.

Данные, необходимые для выпуска гидрологических прогнозов. После того как метод прогноза определен, состав данных гидрометеорологических наблюдений, которые были использованы на стадии разработки метода прогнозирования, может быть уменьшен до тех элементов, которые требуются для выпуска прогноза. Состав первичных гидрометеорологических данных зависит от взаимосвязи между используемым методом прогнозирования и типом водосбора.

Далее описаны основные данные гидрометеорологических наблюдений, используемые при выпуске прогнозов.

Осадки. Данные об осадках необходимы для изучения процессов формирования дождевого стока, расчета поступления воды на водосбор во время снеготаяния, расчета характеристик осеннего увлажнения почвы. Наибольшая степень их детализации требуется при изучении формирования дождевых паводков. Основным источником данных об осадках являются суточные суммы осадков.

Снежный покров. Снежный покров является важнейшим фактором, определяющим гидрологический режим рек. От точности учета запаса воды в снежном покрове в значительной мере зависит точность прогнозов водности. Учитывая неравномерность залегания снега, при обработке первичных метеорологических данных снегомерных съемок по маршруту в поле и в лесу необходимо использовать информацию по всем имеющимся пунктам гидрометеорологических наблюдений.

Температура воздуха. Измерение температуры воздуха требуется для реализации прогноза снеготаяния, а температура воздуха за некоторый период до перехода ее через 0 °C в сторону понижения используется как показатель

теплозапасов в реке при прогнозах появления льда. Источником сведений о температуре воздуха являются первичные метеорологические данные по пунктам метеорологических наблюдений.

Влажность и глубина промерзания почвы. Влажность и промерзание почвы являются факторами стока. Источниками сведений о них являются данные агрометеорологических наблюдений по пунктам агрометеорологических наблюдений. Агрометеорологические наблюдения включают в себя сведения о влажности почвы в метровом слое, ее промерзании на последний день декады, наибольшей глубине промерзания почвы и сроков его наступления, дате образования устойчивого снежного покрова, дате начала весеннего снеготаяния и глубине промерзания на эту дату.

В практике составления прогнозов часто используется характеристика осеннего увлажнения почвы, вычисляемая как разность между осадками и испарением в бассейне. Опорная сеть пунктов агрометеорологических наблюдений для подсчета характеристики осеннего увлажнения почвы назначается с таким расчетом, чтобы она равномерно охватывала территорию и обеспечивала достаточную точность подсчета средних значений для бассейна. При недостаточности данных наблюдений над влажностью почвы используются косвенные характеристики осеннего увлажнения почвы. Наиболее распространенной косвенной характеристикой осеннего увлажнения почвы является сумма осадков за вычетом испарения, подсчитанная за два-четыре месяца до образования устойчивого снежного покрова.

Уровни воды и речной сток. Основными данными гидрологических наблюдений, характеризующих водный режим рек, озер и водохранилищ, являются систематизированные данные наблюдений над уровнем и расходом воды. К ним относятся:

- ежедневные уровни и расходы воды;
- декадные уровни и расходы воды;
- месячные уровни и расходы воды;

- годовые характеристики уровней и расходов воды;
- характеристики уровней и расходов воды весеннего половодья;
- характеристики уровней и расходов воды дождевых паводков.

Оправдываемость гидрологических прогнозов в значительной степени определяется достоверностью исходной информации. Погрешности измерения метеорологических величин могут быть: случайные и систематические. Случайные ошибки связаны с мгновенными пульсациями измеряемых величин, с искажениями их в процессе получения, сбора и обработки информации и зависят от недостатков в конструкциях приборов; неисправности приборов; нестабильности метрологических характеристик; неправильной установки приборов; несовершенства используемых методик измерений; нарушением методики измерений; влиянием местных особенностей на значение измеряемой величины.

Причины систематических ошибок: нехарактерность станции; неправильная установка отдельных приборов; неисправность самого прибора или нарушение градуировки; несоблюдение требований ТКП и инструкций по эксплуатации средств измерений; ошибки, допущенные наблюдателями в процессе измерения (наблюдения).

2.2. Определение допустимой погрешности гидрологических прогнозов

При оценке прогнозов предполагается, что ошибки каждого прогноза случайны, а их распределение подчиняется уравнению нормального распределения. Распределение погрешностей прогнозов имеет асимметричный характер. Всегда есть определенный предел их минимальных значений, в пределах обеспеченности от 10 до 90 % распределение ошибок близко к нормальному, что позволяет при оценке эффективности методик и оправдываемости прогнозов использовать уравнение нормального распределения:

$$p(x) = \frac{1}{\bar{\sigma} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.1)$$

где $p(x)$ – вероятность данного отклонения случайной переменной x от ее нормы $\bar{x}$; Δ – заданное значение этого отклонения; $\bar{\sigma}$ – среднее квадратическое отклонение переменной x .

В пределах $\pm 0,674 \bar{\sigma}$ заключена половина площади нормированной кривой нормального распределения. Отклонение от нормы, равное $\pm 0,674 \bar{\sigma}$, называют вероятным отклонением, которое принимается за допустимую погрешность прогнозов $\delta_{\text{дон}}$ [3].

Погрешность прогноза δ_i выражается в разности между фактической величиной y_i и величиной y'_i , ожидавшейся по прогнозу:

$$\delta_i = y_i - y'_i \quad (2.2)$$

Ожидавшаяся по прогнозу величина, сложенная с погрешностью прогноза, должна быть равной фактической величине.

Для оценки оправдываемости прогноза устанавливается допустимая погрешность. Оправдываемость прогноза определяется путем сравнения погрешности прогноза с допустимой погрешностью. Прогноз считается оправдавшимся, если его погрешность равна или меньше допустимой погрешности.

Большое разнообразие прогнозов, различная методика их составления и заблаговременность требуют различного подхода при определении допустимых погрешностей. Ниже даются правила назначения допустимых погрешностей для различных видов прогнозов.

Допустимая погрешность прогнозов уровней или расходов воды и объема стока. К этим прогнозам относятся прогнозы объема и максимального уровня или расхода половодья или паводков, прогнозы характерных уровней или расходов

воды на календарные периоды или сезоны, прогнозы уровня или расхода воды на заданную дату и т. п. За допустимую погрешность для указанных прогнозов принимается меньшее из вероятных отклонений $\pm 0,674 \bar{\sigma}$ и $\pm 0,674 \bar{\sigma}_\Delta$. Какая из величин $\bar{\sigma}$ или $\bar{\sigma}_\Delta$ меньше, может быть решено без расчета, исходя из характера связи начального и прогнозируемого уровня или расхода:

- если угловой коэффициент линии связи между указанными величинами меньше 0,5, то $\bar{\sigma} < \bar{\sigma}_\Delta$;
- если коэффициент больше 0,5, то $\bar{\sigma} > \bar{\sigma}_\Delta$;
- при отсутствии связи между начальным и прогнозируемым уровнем или расходом $\bar{\sigma} \approx \bar{\sigma}_\Delta$.

Среднее квадратическое отклонение $\bar{\sigma}$ предсказываемого уровня или расхода и объема стока от нормы вычисляется по формуле:

$$\sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (2.3)$$

где y_i – значение прогнозируемой величины; $\bar{y}$ – среднее значение величины в многолетнем ряду наблюдений; n – число членов ряда.

Среднее квадратическое отклонение $\bar{\sigma}_\Delta$ изменения уровня или расхода воды или объема стока за период заблаговременности прогноза от нормы этого изменения (таблица 2.1) вычисляется по формуле:

$$\bar{\sigma}_\Delta = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

где Δ_i – разность между начальным и конечным значениями за период заблаговременности прогноза; $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности между начальным и конечным значениями за период заблаговременности прогноза; δ_i – погрешность прогноза; n – число членов многолетнего ряда.

Величина $\pm 0,674 \bar{\sigma}_\Delta$ принимается за допустимую погрешность для краткосрочных прогнозов характерных расходов или уровней воды на календарные периоды и объемов стока в тех случаях, когда начальное значение водности в значительной мере определяет предсказываемый расход или уровень и объем стока и исключает появление их в многолетнем диапазоне. В остальных случаях принимается $\pm 0,674 \bar{\sigma}$.

Назначение допустимой погрешности для основных видов прогнозов расходов или уровней воды и объема стока приводится ниже.

Допустимая погрешность прогноза объема половодья принимается равной вероятному отклонению объема половодья от среднего его значения за период наблюдений, определяется по формуле:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (W_i - \bar{W})^2}{n-1}}, \quad (2.5)$$

где W_i – объем половодья, м³; $\bar{W}$ – среднее значение объема половодья, м³; n – число членов ряда.

Допустимые погрешности уточнений прогнозов объема половодья, составляемых в период развития половодья, определяются следующим образом:

- для прогнозов, составляемых до наступления максимума:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (W_i - \bar{W}')^2}{n-1}}, \quad (2.6)$$

где W_i' – объем стока от даты составления прогноза до конца половодья, м³; $\bar{W}'$ – среднее значение объема стока за этот же период, м³; n – число членов ряда;

- для прогнозов, составляемых в момент наступления максимального расхода или в начальный период спада половодья:

$$\delta_{don} = \pm 0,674 \bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.7)$$

где Δ_i – разность между прошедшим до даты составления прогноза и оставшимся объемом половодья; $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности между прошедшим до даты составления прогноза и оставшимся объемом половодья; n – число членов ряда.

Допустимые погрешности прогнозов максимальных расходов или уровней половодья определяются следующим образом:

- прогнозы, составляемые до начала половодья, оцениваются по формуле:

$$\delta_{don} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}}, \quad (2.8)$$

где Q_i – максимальный расход половодья, м³/с; $\bar{Q}$ – среднее значение максимального расхода половодья, м³/с; n – число членов ряда;

- прогнозы, составляемые в период подъема половодья, оцениваются, исходя из разности максимального расхода или уровня половодья и расхода или уровня в день составления прогнозов, допустимые погрешности принимаются равными вероятным отклонениям этой разности от ее нормы:

$$\delta_{don} = \pm 0,674 \bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.9)$$

где Δ_i – разность между максимальным расходом или уровнем и расходом или уровнем в день составления прогноза; $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности между максимальным расходом или уровнем и расходом или уровнем в день составления прогноза; n – число членов ряда.

Допустимые погрешности прогнозов минимальных расходов или уровней воды за период навигации или зимний период принимаются равными вероятному отклонению от нормы:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (H_i - \bar{H})^2}{n-1}}, \quad (2.10)$$

где H_i – минимальный уровень, см; $\bar{H}$ – среднее значение минимального уровня, см; n – число членов ряда.

К характерным уровням воды во время осенних ледовых явлений относится уровень начала ледохода, минимальный уровень в период ледообразования, а также максимальные уровни при заторах и зажорах льда. Прогнозы этих уровней составляются обычно с небольшой заблаговременностью, поэтому допустимые погрешности прогнозов назначаются, исходя из изменений уровня воды за период заблаговременности прогнозов:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.11)$$

где Δ_i – разность между характерным уровнем и уровнем в день составления прогноза; $\bar{\Delta}$ – среднее значение изменения уровня за период заблаговременности прогноза; n – число членов ряда.

К характерным уровням воды во время весенних ледовых явлений относится уровень при подвижке льда, уровень начала ледохода, наивысший уровень ледохода, наивысший уровень при заторе льда. Допустимые погрешности прогнозов этих уровней, составляемых до начала весенней прибыви воды, принимаются равными вероятному отклонению от нормы:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (H_i - \bar{H})^2}{n-1}}, \quad (2.12)$$

где H_i – характерный уровень, см; $\bar{H}$ – среднее значение характерного уровня, см; n – число членов ряда.

Если прогнозы указанных уровней составляются во время развития половодья, то допустимые погрешности принимаются равными вероятным изменениям уровня за период заблаговременности прогнозов.

За допустимую погрешность прогнозов средних, минимальных и максимальных уровней или расходов воды на календарные периоды принимается меньшее из вероятных отклонений:

$$\pm 0,674\bar{\sigma} \text{ и } \pm 0,674\bar{\sigma}_{\Delta},$$

где $\bar{\sigma}$ – среднее квадратическое отклонение от нормы; $\bar{\sigma}_{\Delta}$ – среднее квадратическое изменение уровней или расходов воды за период заблаговременности прогнозов, вычисляемых по формулам (2.3) и (2.4).

Изменение уровней или расходов воды за период заблаговременности прогнозов определяется как разность между средним уровнем или расходом воды за начальную декаду и характерным уровнем или расходом воды того календарного периода (декада, месяц, квартал), на который дается прогноз.

Начальная декада выбирается следующим образом.

Если прогноз на декаду, месяц или другой календарный период составляется в первый день указанных периодов, то за начальный расход принимается соответственно средний расход за предшествующую календарную декаду.

Например – прогноз среднего (максимального или минимального) расхода воды на первую декаду июля или на июль составляется 01.06, тогда начальный расход равен среднему расходу за третью декаду июня.

Если прогноз на декаду, месяц или квартал составляется в начале какой-либо из предшествующих декад, то за начальный расход принимается соответственно средний расход за предшествующую декаду.

Например – прогноз среднего (максимального или минимального) расхода воды на первую декаду июля или на июль составляется 12.06, тогда за начальный расход принимается средний расход за первую декаду июня.

Если прогноз на тот или иной календарный период составляется в середине или в конце какой – либо из предшествующих декад, то за начальный расход принимается соответственно средний расход за ту календарную декаду, на которую составляется прогноз.

Например – прогноз среднего (максимального или минимального) расхода воды на первую декаду июля или на июль составляется 18.06, тогда за начальный расход принимается средний расход за вторую декаду июня.

Допустимая погрешность прогноза среднего расхода воды за вегетационный период принимается равной вероятному отклонению от нормы:

$$\delta_{don} = \pm 0,674\bar{\sigma} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum(Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \quad (2.13)$$

где Q_i – средний расход за вегетационный период, м³/с; $\bar{Q}$ – среднее значение среднего расхода, м³/с; n – число членов ряда.

Допустимая погрешность прогноза максимального расхода за вегетационный период определяется аналогично определению допустимой погрешности прогноза максимального расхода половодья по формуле (2.8).

Прогнозы распределения стока за вегетационный период представляют собой прогнозы средних месячных расходов воды за период апрель–сентябрь. Поэтому при оценке таких прогнозов допустимые погрешности назначаются для каждого месяца отдельно и принимаются равными вероятному отклонению от нормы расхода данного месяца.

Общая оценка прогноза распределения стока за вегетационный период делается на основании оправдываемости средних месячных расходов как процентное отношение числа оправдавшихся прогнозов к общему числу случаев.

Пример, если из шести месяцев вегетационного периода не оправдался расход лишь для одного месяца, то оправдываемость прогноза распределения

стока в этом случае будет: $\frac{5 \times 100}{6} = 83\%$.

Аналогичным путем оцениваются и прогнозы распределения стока по декадам или месяцам за период половодья или за квартал. Допустимые погрешности определяются отдельно для каждой декады, для каждого месяца или квартала внутри половодья и принимаются равными вероятному отклонению от нормы.

Допустимая погрешность прогноза уровней или расходов воды на конец декады в течение месяца определяется также отдельно для каждой декады аналогично тому, как определяется допустимая погрешность прогноза минимального или максимального декадного уровня или расхода воды на календарные периоды.

Допустимая погрешность для прогноза объема дождевого паводка принимается равной вероятному отклонению от нормы:

$$\delta_{don} = \pm 0,674\bar{\sigma} = \pm 0,674\sqrt{\frac{\sum(W_i - \bar{W}')^2}{n-1}}, \quad (2.14)$$

где W_i – объем дождевого паводка, м³; $\bar{W}$ – среднее значение объема, м³; n – число паводков за многолетний период.

Допустимая погрешность прогноза максимального уровня или расхода дождевого паводка принимается равной вероятному изменению уровня или расхода воды за период заблаговременности прогноза:

$$\delta_{don} = \pm 0,674\bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674\sqrt{\frac{\sum(\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.15)$$

где Δ_i – разность между максимальным расходом дождевого паводка и расходом в день составления прогнозов; $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности между максимальным расходом дождевого паводка и расходом в день составления прогнозов; n – число паводков за многолетний период.

Прогнозы уровней или расходов воды на заданную дату имеют обычно относительно небольшую заблаговременность и чаще всего составляются по методу соответственных уровней, расходов и объемов воды. Допустимая погрешность для этих прогнозов принимается равной вероятному изменению уровня или расхода воды за период заблаговременности прогноза:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \bar{\sigma}_{\Delta} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}, \quad (2.16)$$

где Δ_i – изменение расхода воды за период заблаговременности прогноза, которое равно разности между расходом воды на заданную дату и расходом в день составления прогноза; $\bar{\Delta}$ – среднее значение изменения расхода воды за период заблаговременности прогноза; n – число принятых в расчет изменений расхода воды за период заблаговременности.

Для рек с четко выраженным половодьем допустимая погрешность определяется отдельно для периодов подъема половодья, спада половодья и летне-осенней межени. Граница между спадом половодья и летне-осенним периодом относится ко времени окончания крутого спада половодья. Таким образом, величина δ характеризует среднюю интенсивность подъема или спада за период заблаговременности прогноза.

Для рек с неустойчивым водным режимом (частыми подъемами и спадами), а также для всех рек в период межени ($\bar{\Delta} \approx 0$) допустимая погрешность определяется по формуле:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n-1}} \quad (2.17)$$

При определении допустимой погрешности используется, как правило, не менее трех характерных лет: многоводный год с резким подъемом и спадом,

средний по водности – с умеренной интенсивностью подъема и спада и маловодный – с медленным подъемом и спадом.

Для вычисления допустимой погрешности необходимо иметь не менее 100 измерений уровня или расхода воды за период заблаговременности прогноза, т. е. не менее 30–35 измерений в каждом характерном году, которые определяются по таблицам ежедневных уровней или расходов воды. Если 100 изменений уровня или расхода за период заблаговременности прогноза не могут быть набраны за три характерных года, что может иметь место, например, при расчете допустимой погрешности на подъеме или спаде половодья малой реки, то привлекаются дополнительные годы.

Вычисленная, указанным путем, допустимая погрешность используется при оценке всех прогнозов, в которых правильно был предсказан знак изменения уровня или расхода воды. Например, ожидался подъем и был подъем, ожидался спад и был спад.

При несовпадении знаков ожидаемого и фактического изменений уровня или расхода воды допустимая погрешность прогнозов принимается равной $0,2\bar{\sigma}_\Delta$, но не менее 5 см для уровней воды и не менее 5 % для расходов воды.

Цели получения метеорологической информации обеспечение народнохозяйственных организаций сведениями о метеорологических условиях в пункте наблюдения; оповещение обслуживаемых организаций об опасных гидрометеорологических атмосферных процессах и явлениях; обеспечение прогностических органов службы необходимыми данными для составления всех видов прогнозов метеорологических условий и предупреждений об ожидаемых неблагоприятных условиях; накопление и обобщение объективных данных о метеорологическом режиме и климате по территории района, субъекта, страны.

Гидрологические прогнозы широко используются для предупреждения об опасных гидрологических явлениях, в частности для предупреждения о прохождении паводков, о наводнениях, зажорах, заторах и т.д. Для районов с развитой промышленностью и большой плотностью населения в долинах рек

подобные предупреждения, в особенности о катастрофических паводках, представляют большую ценность, так как помогают своевременно подготовиться и по возможности уменьшить ущерб от разливов рек.

2.3 Допустимая погрешность прогнозов толщины льда

Прогнозы средней, минимальной или максимальной толщины льда могут составляться как для отдельного пункта, так и для участка реки, озера или водохранилища. При составлении этих прогнозов определяется изменение толщины льда за период заблаговременности. Поэтому независимо от формы самого прогноза (в нем может указываться ожидаемая толщина льда) оценка его должна производиться по изменению толщины льда за период заблаговременности.

Допустимые погрешности прогнозов толщины льда определяются по таблице 10 в зависимости от фактического ее изменения, за период от даты выпуска прогноза до даты, на которую составлялся прогноз.

Таблица 2.1

Допустимые погрешности прогнозов толщины льда

Фактическое изменение толщины льда, см	≤10	11-15	16-20	21-25	26-30	>30
Допустимая погрешность, см	± 3	± 4	± 5	± 6	± 8	± 10
<i>Примечание – Прогноз считается оправдавшимся, если абсолютная величина его погрешности меньше или равна допустимой.</i>						

2.4. Допустимая погрешность прогнозов предельных значений гидрологических явлений

Прогнозами предельных значений гидрологических явлений называются такие, в которых указывается, что ожидаемый параметр будет не более или не менее определенного значения или, что явление осуществится не раньше или не позже определенной даты.

Допустимые погрешности прогнозов предельных значений принимаются близкими к точности измерения или фиксации явлений во времени, а именно:

-для прогнозов расходов и объема стока $\pm 0,05$ или $\pm 0,05$ (и – фактические расход и объем стока соответственно);

-для прогноза уровня ± 5 см;

-для долгосрочных прогнозов сроков наступления характерных явлений ± 2 дня, а для краткосрочных прогнозов ± 1 день.

2.5. Критерии применимости и качества методик гидрологических прогнозов

Оценка эффективности методики прогнозирования позволяет установить возможность ее практического применения. При оценке эффективности методики и оправдываемости прогнозов требуется выполнение двух условий:

- 1) должна быть соблюдена объективность системы оценки прогнозов;
- 2) необходимо иметь возможность проводить сравнительную оценку.

Выполнение первого условия способствует совершенствованию методик прогнозирования, а второе условие позволяет выявить среди большого числа методик наиболее эффективные.

Критерии качества методики прогноза, а, следовательно, и ее применимости должны характеризовать одновременно как надежность методики прогноза, так и ее эффективность.

Исходя из того, что распределение погрешностей прогнозов и распределение отклонений гидрологических параметров от средних значений близки к нормальному или отличаются незначительно, за критерий применимости и качества прогнозов принято отношение $\bar{S} / \sigma$ или $\bar{S} / \bar{\sigma}$. Средняя квадратическая погрешность проверочных прогнозов ($\bar{S}$) вычисляется по формуле:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n - m}} \quad (2.18)$$

где y_i и y'_i – соответственно фактическое и предсказанное значения; n – число членов ряда, по которому получена связь или число проверочных прогнозов; m – число степеней свободы, равное числу постоянных в прогностическом уравнении (для линейного уравнения $y = ax + b$ $m = 2$, в случае нелинейной зависимости m берется равным числу постоянных в уравнении связи, а при графическом построении кривой – равным числу постоянных такого математического уравнения, которому близка по виду кривая связи).

Величины $\bar{S}/\bar{\sigma}$ или $\bar{S}/\bar{\sigma}_\Delta$ являются характеристиками одновременно надежности и эффективности, т. е. показывают выигрыш в распределении погрешностей, который дает метод прогнозирования по сравнению с распределением погрешностей в случае принятия ожидаемого параметра по его норме или норме изменения за период заблаговременности прогноза. Зная отношение $\bar{S}/\bar{\sigma}$, легко перейти к стандартному выражению корреляционного отношения:

$$\rho = \sqrt{1 - \frac{\bar{S}^2}{\bar{\sigma}^2}}. \quad (2.19)$$

Для линейных зависимостей корреляционное отношение численно совпадает с коэффициентом корреляции:

$$r = \rho = \sqrt{1 - \frac{\bar{S}^2}{\bar{\sigma}^2}}. \quad (2.20)$$

Следует иметь в виду, что от соотношения $\bar{S}/\bar{\sigma}_\Delta$ нельзя перейти к коэффициенту или индексу корреляции между статистическими переменными,

так как $\bar{\sigma}_\Delta$ не является средним квадратическим отклонением предсказываемого параметра от нормы.

Таблица 2.2 позволяет определить выигрыш в обеспеченности допустимой погрешности, который дает методика прогноза при данном значении отношения $\bar{S}/\bar{\sigma}$ (по сравнению с обеспеченностью), равном допустимой погрешности отклонения от нормы. Для этого из обеспеченности, указанной в таблице 2.2, необходимо вычесть 50.

Таблица 2.2

Характерные значения отношения $\bar{S}/\bar{\sigma}$ и соответствующие им значения коэффициента или индекса корреляции и обеспеченности допустимой погрешности для нормального распределения

$\frac{\bar{S}}{\bar{\sigma}}$	Коэффициент (или индекс) корреляции $r(\rho)$	Обеспеченность погрешности $\pm 0,674 \bar{\sigma}$	$\frac{\bar{S}}{\bar{\sigma}}$	Коэффициент (или индекс) корреляции $r(\rho)$	Обеспеченность погрешности $\pm 0,674 \bar{\sigma}$
1	2	3	4	5	6
0,05	0,995	100	0,55	0,840	78,0
0,10	0,993	100	0,60	0,800	74,0
0,15	0,990	100	0,65	0,760	70,0
0,20	0,980	100	0,70	0,720	66,5
0,25	0,970	99,5	0,75	0,670	63,0
0,30	0,950	97,5	0,80	0,600	60,0
0,35	0,940	94,5	0,85	0,540	57,0
0,40	0,920	91,0	0,90	0,450	54,5
0,45	0,900	86,5	0,95	0,320	52,0
0,50	0,870	82,5	1,0	0,0	50,0

Применение методики прогноза в практике является целесообразным лишь в том случае, когда обеспеченность допустимой погрешности по этой методике не менее чем на 10% превышает обеспеченность вероятного отклонения от среднего значения. Исходя из этого и учитывая погрешности определения $\bar{S}$ и $\bar{\sigma}$, которые зависят от числа членов ряда n , ниже даются предельные значения основного критерия применимости методики прогноза. Методика прогноза считается применимой для выпуска прогнозов при следующих отношениях $\bar{S}/\bar{\sigma}$

при $n \leq 15$ $\bar{S}/\bar{\sigma} \leq 0,70$,

при $15 < n < 25$ $\bar{S}/\bar{\sigma} \leq 0,75$,

при $n \geq 25$ $\bar{S} / \bar{\sigma} \leq 0,80$,

где n – число членов ряда, использованного при установлении зависимости для прогноза, или число проверочных прогнозов.

Величина отношения $\bar{S} / \bar{\sigma}$ является также и критерием качества применимой методики прогноза. Категория качества применимой методики и соответствующее значение $\bar{S} / \bar{\sigma}$ при числе проверочных прогнозов $n \geq 25$ даны в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Показатели качества методики прогноза при $n \geq 25$

Категория качества методики	$\bar{S} / \bar{\sigma}$	Коэффициент (или индекс) корреляции ρ	Обеспеченность допустимой погрешности прогнозов, %
Хорошая	≤ 50	$\geq 0,87$	≥ 82
Удовлетворительная	0,51–0,80	0,86–0,60	81–60
<i>Примечание - При числе членов ряда $n \leq 15$ табличные значения $\bar{S} / \bar{\sigma}$ уменьшаются на 0,1, а при $15 < n < 25$ – на 0,05.</i>			

Для более полной характеристики качества применимой методики прогноза в этой же таблице приведены также соответствующие отношению $\bar{S} / \bar{\sigma}$ значения коэффициента или индекса корреляции и обеспеченности допустимой погрешности при $n \geq 25$.

Оценка применимости и качества методик прогнозов расходов (уровней) воды и объема стока производится по отношениям $\bar{S} / \bar{\sigma}$ или $\bar{S} / \bar{\sigma}_\Delta$. Отношение $\bar{S} / \bar{\sigma}$ применяется для тех методик прогнозов, допустимая погрешность которых равна $\pm 0,674 \bar{\sigma}$ а $\bar{S} / \bar{\sigma}_\Delta$ – при допустимой погрешности данного вида прогнозов $\pm 0,674 \bar{\sigma}_\Delta$.

Величина $\bar{S}$ определяется на основании проверочных прогнозов. Значения $\bar{\sigma}$ и $\bar{\sigma}_\Delta$ рассчитываются по многолетнему ряду, т. е. так же, как они определяются при назначении допустимой погрешности прогноза.

Оценка применимости и качества методик прогнозов сроков наступления гидрологических явлений производится в зависимости от даты составления прогнозов. В этом отношении методики подразделяются на следующие группы:

- методики, по которым прогнозы составляются всегда раньше самой ранней даты наступления явления;
- методики, по которым прогнозы составляются в установленную дату, которая находится в пределах многолетней амплитуды наступления явления;
- методики, не имеющие фиксированной даты составления прогноза, т. е. такие, дата составления прогнозов по которым определяется сроком наступления тех или иных факторов, учет которых положен в основу методики. К этой группе относятся методики краткосрочных прогнозов и методики корректировки долгосрочных.

Критерии применимости и качества методик, входящих в ту или иную из указанных групп, приводятся ниже.

За критерий применимости и качества методик долгосрочных прогнозов дат наступления гидрологических явлений, прогнозы по которым составляются раньше самого раннего срока наступления явления в многолетнем периоде, принимается отношение $\bar{S} / \bar{\sigma}$ ($\bar{\sigma}$ – среднее квадратическое отклонение от нормы, вычисляемое по многолетнему ряду). Средняя квадратическая погрешность проверочных прогнозов $\bar{S}$ вычисляется по формуле:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-m}}, \quad (2.21)$$

где δ_i – погрешность прогноза в днях; n – число членов ряда, по которому получена связь или число проверочных прогнозов; m – характеристика вида уравнения регрессии, равная числу постоянных величин в нем.

Оценка применимости и качества методик, прогнозы по которым составляются в фиксированную дату, находящуюся в пределах многолетней амплитуды, производится по отношению $\bar{S} / \bar{\sigma}_c$: где $\bar{S}$ – средняя квадратическая

погрешность проверочных прогнозов; $\bar{\sigma}_c$ – среднее квадратическое отклонение в пределах сокращенной амплитуды (от фиксированной даты составления прогноза до самой поздней даты), которое подсчитывается для многолетнего ряда обычным порядком.

Оценка методики, не имеющей фиксированной даты составления прогноза, производится по средней квадратической погрешности проверочных прогнозов в зависимости от допустимой погрешности для данного метода прогнозирования в соответствии с таблицей 2.4.

Таблица 2.4

Показатели качества методики прогноза дат

Оценка методики	Допустимая погрешность, сутки						
	1	2	3	4	5	6	7
Хорошая при $\bar{S} \leq$	0,7	1,5	2,2	3,0	3,7	4,5	5,2
Удовлетворительная при $\bar{S} \leq$	1,2	2,4	3,6	4,8	5,9	7,1	8,2

Особые случаи оценки применимости и качества методики прогноза.

При определении зависимости гидрологического явления от обуславливающих его факторов, по которым можно составить прогноз, иногда приходится не принимать во внимание отдельные, резко отклоняющиеся случаи (точки), если они являются следствием неучета определенных условий формирования явления. Целесообразность практического применения таких зависимостей определяется тем, известна ли причина отклонений и насколько мала вероятность появления не принятых во внимание больших отклонений.

За критерий применимости такого рода зависимостей должна приниматься вероятность непревышения допустимой погрешности, вычисляемая как процентное отношение числа случаев m , в которых ошибки проверочных прогнозов были меньше допустимой, к общему числу проверочных прогнозов n :

$$p(\delta) = \frac{m}{n} 100\% \quad (2.22)$$

Зависимости, установленные без учета резко отклонившихся случаев, считаются практически применимыми при следующих значениях обеспеченности допустимой погрешности:

при $n \geq 25$ $p \geq 75\%$,

при $25 > n > 15$ $p \geq 80\%$,

при $n \leq 15$ $p \geq 85\%$.

Следует иметь в виду, что при построении зависимостей исключение резко отклонившихся случаев допустимо лишь при условии, что определенно известна физическая причина отклонения и что эта причина не учитывается методикой прогноза.

Для методик краткосрочных и среднесрочных прогнозов гидрологических параметров и характеристик, базирующихся на прогнозах погоды (температуры воздуха, скорости и направлении ветра т.д.) нельзя подсчитать среднюю квадратическую погрешность проверочных прогнозов, поэтому в данном случае производится оценка методики прогноза по фактическим значениям метеорологических элементов. Если погрешность проверочных прогнозов в 85% случаев из их общего числа не превышает допустимую для данного вида прогноза, то такие зависимости считаются приемлемыми для выпуска прогнозов.

Допустимая погрешность принимается исходя из условий использования данной методики для выпуска прогноза. Например, краткосрочные прогнозы сроков наступления осенних ледовых явлений, основанные на прогнозе температуры воздуха, составляются в среднем с заблаговременностью 2 дня, а среднесрочные прогнозы сроков наступления весенних ледовых явлений – 6 дней. Из этих значений заблаговременности и назначается допустимая погрешность для оценки методики прогноза. При установлении указанного критерия применимости методики прогноза число проверочных прогнозов должно быть достаточным и по возможности включать случаи с экстремальными значениями предсказываемого явления.

Прогнозы параметров и характеристик гидрологического режима составляются по водным объектам суши: рекам, озерам и водохранилищам.

На начальной стадии гидрологического прогнозирования важно рассматривать возможности использования прогнозов погоды, так как предполагаемое развитие определенных метеорологических процессов часто служит основой для составления гидрологических прогнозов. При этом необходимо учитывать, что надежность прогнозов погоды снижается в зависимости от прогнозируемого периода; прогноз температуры воздуха более надежен, чем прогноз осадков или ветра; прогноз количества осадков менее надежен, чем прогноз их выпадения.

Подготовка данных гидрометеорологических наблюдений для составления прогнозов и их анализ должны выполняться в соответствии с требованиями методической записки. Прежде всего, необходимо ознакомиться с содержанием методической записки: обстоятельно изучить особенности формирования предсказываемого явления, усвоить сущность методики прогноза, ознакомиться с порядком составления прогнозов в конкретных условиях данного речного бассейна. Затем проанализировать гидрометеорологические условия и подготовить данные гидрометеорологических наблюдений к выпуску прогнозов.

По предсказываемым гидрологическим явлениям выделяют прогнозы водного режима (уровней и расходов воды, объема или слоя стока) и прогнозы ледовых явлений (сроки их появления, толщины ледяного покрова, очищения ото льда).

По заблаговременности, т.е. в зависимости от промежутка времени, на который рассчитан прогноз, различают краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные прогнозы.

Практические возможности увеличения заблаговременности гидрологических прогнозов зависят от вида метеорологических прогнозов (т. е. кратко-, средне- и долгосрочные) и от степени влияния погодных условий на прогнозируемое явление. Тем не менее, гидрологические прогнозы могут

составляться на сезон за периоды, выходящие за пределы надежных прогнозов погоды, если они выпускаются обобщенными на вероятные метеорологические условия. Точность прогнозов уменьшается с увеличением заблаговременности, в связи с чем практическую ценность имеет последовательная их корректировка по мере сокращения заблаговременности.

Требования, предъявляемые к точности прогноза, должны соответствовать назначению прогноза, однако точность должна рассматриваться вместе со своевременностью прогноза. Критерием при оценке качества прогноза должно быть идеальное соответствие его как по точности, так и по своевременности. Точность и своевременность прогнозов зависит от надежности и объема гидрологической и метеорологической информации, скорости, с которой эта информация поступает, от времени реакции водосбора, метода прогноза и времени, необходимого для доведения прогноза до потребителей. Различные способы составления прогнозов не обеспечивают безошибочный прогноз, несмотря на то, что некоторые потребители его ожидают, поэтому потребитель должен быть информирован о надежности прогноза, о котором идет речь.

Гидрологические процессы формируются под воздействием метеорологических факторов, однако изменения, которые эти факторы вносят в гидрологический режим, проявляются медленно. Например, продолжительность стока, вызванного выпадением осадков, часто во много раз превышает длительность их выпадения, также существует определенное запаздывание между ростом температуры воздуха, вызывающим таяние снега и последующим повышением уровня воды в реке. Относительно медленное развитие во времени гидрологических процессов и их отставание от более быстрых метеорологических процессов, дают возможность предсказывать некоторые элементы гидрологического цикла.

Основные факторы, определяющие гидрологические процессы, могут быть разделены на следующие группы:

- начальные факторы, которые определяют условия, сложившиеся в момент выпуска прогноза, и которые могут быть вычислены или оценены на основе текущих гидрометеорологических наблюдений;

- будущие факторы, которые определяют гидрологические процессы после выпуска прогноза, наиболее важные из них, будущие метеорологические условия, могут быть надежно учтены только при наличии прогноза погоды.

При гидрологическом прогнозировании осуществляется:

- сбор и обработка первичных гидрологических данных, полученных в результате гидрологических наблюдений, и первичных метеорологических данных, полученных в результате приземных метеорологических наблюдений;

- выпуск прогнозов и предупреждений;

- доведение данных гидрологических наблюдений, прогнозов и предупреждений до потребителей;

- оценка точности прогнозов;

- анализ потребностей и последующее совершенствование существующих методов прогнозирования.

Все прогнозы в зависимости от их назначения можно разделить на две группы:

- прогнозы общего назначения, к которым относятся прогнозы, представляющие общий интерес, например, прогнозы максимального уровня паводков и предупреждения о наводнениях;

- прогнозы специализированные, представляющие интерес для определенных отраслей экономики страны, отдельных компаний или предприятий, например, прогнозы сроков появления льда на реках.

Прогнозы доводят до потребителей в день их составления с использованием различных средств связи. Распространение осуществляется через выпуски обзоров состояния водных объектов за различные периоды обобщений (сутки, пентада, неделя, месяц, половодье), которые включают:

- оценку водного, температурного и ледового режимов;

- прогнозную информацию об ожидаемых гидрометеорологических условиях;

- данные гидрометеорологических наблюдений;

- необходимые иллюстрации.

Многие отрасли народного хозяйства, деятельность которых связана с использованием водных ресурсов, нуждается, в различного рода, гидрологических прогнозах. Особенно широко используются гидрологические прогнозы для планирования работы гидроэлектрических станций, систем промышленного и бытового водоснабжения и орошения, а также для обеспечения и планирования судоходства и лесосплава.

3. СПОСОБЫ ПРОГНОЗА ПО СООТВЕТСТВЕННЫМ УРОВНЯМ И РАСХОДАМ ВОДЫ

Всем гидрологическим процессам в большей или меньшей степени присуща инерционность. Чем меньше заблаговременность прогноза, тем в большей мере будущее состояние водного объекта зависит от текущего его состояния. В связи с этим в краткосрочных прогнозах значительно большее место занимают детерминистические методы, основанные на общих законах физики. Однако вследствие чрезвычайной сложности и неравномерности гидрометеорологических процессов, а также ограниченности данных наблюдений при разработке практических методов, прогноза приходится прибегать к значительной схематизации реальных процессов и упрощению уравнений математической физики. В силу этого методы прогноза в большей или меньшей степени носят эмпирический либо полуэмпирический характер. Поэтому очень важную роль играют данные наблюдений, которые используются при разработке методов (определение параметров и элементов водного баланса, установление графических связей).

Способы расчета трансформации и перемещения паводочной волны на бесприточном или слабоприточном участке реки основаны на использовании уравнения водного баланса, которое позволяет учесть в первом приближении влияние русловой емкости по аналогии с регулированием стока озером или водохранилищем. Для решения этого уравнения относительно Q необходимо иметь зависимость объема воды на участке от ее расхода, т. е. кривую объемов. Различия известных в настоящее время практических способов расчета, основанных на использовании уравнения, определяются теми допущениями, которые принимаются для выражения кривой объемов. Графоаналитический способ. Этот способ предложен Р.Д. Гудричем, он дает возможность рассчитывать трансформацию волны паводка озером, водохранилищем, а также на бесприточном участке реки по заданным интервалам времени, если известна

кривая объемов $W=f(Q)$. В основу расчета кладется уравнение водного баланса, записанное в следующем виде:

$$\frac{q_1 + q_2}{2} \cdot \Delta t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \cdot \Delta t = W_2 - W_1 \quad (3.1)$$

В этом уравнении индексы 1 и 2 означают соответственно начало и конец расчетного интервала времени Δt ; q и Q – расходы воды соответственно в верхнем и нижнем створах; W – объем воды на участке.

Уравнение водного баланса легко преобразуется к более удобному для расчетов виду:

$$q_1 + q_2 + \left(\frac{2W_1}{\Delta t} - Q_1 \right) = \frac{2W_2}{\Delta t} + Q_2. \quad (3.2)$$

Решение этого уравнения относительно Q_2 возможно, если известна вспомогательная расчетная зависимость:

$$f(Q) = \frac{2W}{\Delta t} + Q. \quad (3.3)$$

При наличии кривой объемов такую зависимость легко построить на материалах наблюдений за прошлые годы, используя для вычислений левую часть уравнения (3.2), в которой все величины известны.

Суть метода сводится к установлению эмпирических связей между соответственными уровнями (расходами) воды, наблюдавшимися в верхнем и нижнем створах. Заблаговременность прогноза равна разности сроков наступления таких уровней (расходов) в указанных створах.

Построение такого рода эмпирической зависимости для заданного участка реки представляет собой приближенное решение уравнений и при допущении малости их инерционных членов. При таком условии прогностические зависимости для расходов воды имеют вид:

$$Q_{H.t+\tau} = Q_{Bt}. \quad (3.4)$$

где $Q_{H.t+\tau}$ – расход воды в нижнем створе в момент времени $t+\tau$; Q_{Bt} – расход воды в верхнем створе в момент времени t ; $Q_{o.t+\tau}$ – промежуточный приток на участке (τ – время добегания на участке).

Методически способы прогноза по соответственным уровням и расходам можно разделить на три группы:

1. для бесприточных и слабоприточных участков рек, когда достаточно точными бывают зависимости вида:

$$H_{H.t+\tau} = f(H_{Bt}). \quad (3.5)$$

$$Q_{H.t+\tau} = f_1(Q_{Bt}). \quad (3.6)$$

2. для участков рек со значительным промежуточным притоком (Q_{ot}), но при небольшом распластывании паводка, когда строят зависимости типа:

$$H_{H.t+\tau} = f(H_{Bt} Q_{ot}). \quad (3.7)$$

$$Q_{H.t+\tau} = f_1(Q_{Bt} + Q_{ot}). \quad (3.8)$$

3. для участков рек при значительном распластывании паводочных волн, когда ищут зависимости вида:

$$H_{H.t+\tau} = f(H_{Bt} \Delta H_p). \quad (3.9)$$

$$Q_{H.t+\tau} = f_1(Q_{Bt} + \Delta Q_p). \quad (3.10)$$

где ΔH_p и ΔQ_p , – соответственно поправки уровня и расхода воды на распластывание паводка.

Эти поправки могут быть приближенно учтены через значения уровня и расхода воды в верхнем и нижнем створах за некоторый промежуток времени, например:

$$\Delta H_p = f(H_{Bt} H_{n,t}). \quad (3.11)$$

$$\Delta Q_p = f_1(Q_{Bt} + Q_{n,t}). \quad (3.12)$$

3.1. Способы прогноза на бесприточных и слабоприточных участках реки

Несмотря на большое разнообразие методов краткосрочных прогнозов водного режима по физическим предпосылкам их можно разбить на три группы:

1. Методы, основанные на закономерностях процессов, происходящих в русловой сети. Чаще всего это методы прогноза для участков сравнительно крупных рек. Расчетные соотношения этих методов получаются в результате различных упрощений уравнения неразрывности водного потока и динамического уравнения. Для составления прогноза используются данные гидрометрических наблюдений.

2. Методы, основанные на закономерностях процессов стокообразования, происходящих на водосборе. Такие подходы, как правило, используются для небольших водосборов (10–15 тыс. км²). Теоретической основой служат уравнения тепло- и массопереноса в почве и приземном слое атмосферы. Однако из-за чрезвычайной сложности процессов, происходящих на водосборе, широко используются эмпирические зависимости. Основными исходными данными при составлении прогноза являются материалы гидрометеорологических наблюдений.

3. Методы, основанные на учете статистических связей между основными стокообразующими факторами. Такие методы прогноза разрабатываются в

основном для крупных рек. Также, как и в предыдущем случае, при составлении прогноза используются гидрометеорологические данные.

3.1.1. Определение соответственных уровней (расходов) воды двух постов и времени их добегания на участке по характерным точкам графика колебаний уровня (расхода) воды

Наиболее просто соответственные уровни (расходы) воды и время их добегания могут быть определены путем сопоставления совмещенных графиков колебания уровня (расхода) воды в верхнем и нижнем створах. На графиках отмечают максимумы и минимумы в ходе уровня (расхода) воды в точки перегиба. Время добегания определяют, как разность сроков наступления соответственных уровней (расходов) воды в верхнем и нижнем створах.

При этом пики отдельных паводков являются наиболее показательными.

По полученным данным строят графики связи соответственных уровней (расходов) воды верхнего и нижнего постов и времени добегания между ними в зависимости от уровней (расходов) верхнего створа. Если время добегания меняется слабо и трудно установить закономерность его изменения от уровня (расхода) воды или фазы режима, то вычисляют его среднее значение, которое принимают постоянным для всех уровней (расходов) и которое определяет заблаговременность краткосрочных прогнозов.

3.1.2. Построение графика связи между соответственными уровнями двух постов и определение времени добегания воды на участке по кривым расхода и таблицам наблюдений за уровнем воды

Этот способ, предложенный А.В. Огиевским, применим при наличии устойчивых кривых воды. Пользуясь ими, строят график связи воды в двух створах. Для этого при общей оси расходов строят кривые $Q=f(H)$ для верхнего и нижнего створов. Затем задаются различными значениями расхода воды и

графическим путем определяют координаты графика связи соответственных уровней в первом квадранте.

Пользуясь полученным графиком и данными наблюдений, определяют время добегания. Берут какой-либо уровень воды на верхнем посту и по графику соответственных уровней находят отвечающий ему уровень воды на нижнем посту. По таблице ежедневных уровней воды на нижнем посту определяют дату поступления найденного уровня воды. Разность дат наступления этих уровней принимают за время добегания. Повторяя эти вычисления для ряда уровней воды (для всего диапазона изменения уровня), наблюдавшихся на верхнем посту, получают для построения графика времени добегания.

Для построения графика связи уровней воды между гидропостами используются данные ежедневных уровней воды из гидрологических ежедневников или водных кадастров, по которым строятся графики изменения навигационных уровней воды по времени. По вертикальной оси откладываются уровни воды, а по горизонтальной - дни, месяцы навигационного периода. По графикам в результате анализа хода уровней воды на данном участке определяются соответственные уровни (максимальные пиковые и минимальные), значения которых заносятся в расчетную таблицу. При этом необходимо учитывать расположение гидропоста относительно течения.

С графиков колебания уровней воды по горизонтальной оси снимается время добегания волны t в сутках и часах, вычисляются скорости добегания по формуле:

$$C = L/t, \quad (3.13)$$

где L -расстояние между гидропостами, км.

3.2. Определение времени добегания

Время добегания является важной характеристикой, так как оно позволяет определить:

1. Прохождение пика паводка или половодья на любом отрезке рассматриваемой реки

2. Определить распространение аварийных сбросов

Для определения времени добегания предварительно выбирается расчетный участок рассматриваемой реки. При этом участок должен быть бесприточным или слабоприточным.

Время добегания на участке τ зависит от:

1. Длины участка

2. Уровня воды

3. Шероховатости

4. Формы русла

Основным способом определения τ является построение совмещенных графиков колебания расходов или уровней в выше (ниже) расположенных створах и выделение на них соответствующих уровней воды.

Соответствующие уровни – это однородные по фазе уровни, для которых характерно прохождение через верхний и нижний створы одного и того же расхода воды.

Фазооднородные уровни легко установить по точкам перегиба, т.е. период прохождения пика паводка или половодья, или минимального расхода воды.

Как правило, точки перегиба ($\max$, $\min$) на ниже расположенном створе, наблюдаются с некоторым опозданием, по сравнению с выше расположенным створом.

Это время запаздывания и будет являться временем добегания между створами.

Задание: Определить время добегания р. Чикой от станции Гремячка до станции Поворот.

Исходными данными: ежедневные (ежедневные) уровни воды на ст. Гремячка и Поворот выбранным годам. (2010 и 2012 гг.)

Предварительно по рассматриваемой реке по выбранным створам (р. Хилок - ст. Гремячка (верхний створ) и р. Хилок – с. Поворот (нижний створ)) необходимо построить гидрографы стока.

Для удобства определения времени добегания все расчеты необходимо производить в табличной форме.

Характерным признаком рек Забайкалья является Дальневосточный тип их питания, т.е. основная масса годового стока (около 80% и более) проходит в теплый период года, т.е для рек Забайкалья характерны относительно небольшие пики половодья и большие пики паводков.

В качестве характерных ежедневных уровней воды по выбранным постам и годам принимать в расчётах ежедневные уровни воды за летний период (табл. 3.1 – 3.2).

Таблица 3.1

Ежедневные уровни воды за летний период р. Чикой – ст. Гремячка

2017 год - минимальный				2010 год - максимальный			
Число	Месяц			Число	Месяц		
	VI	VII	VIII		VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	4	8
1	57	43,2	58,5	1	729	104	106
2	55,5	42,4	54,1	2	338	116	104
3	57	42,4	52,6	3	247	124	103
4	61,6	45,7	52,6	4	201	115	103
5	60,1	44,9	55,5	5	180	110	104
6	64,9	44,9	57	6	163	107	106
7	68,2	44,9	58,5	7	153	106	104
8	75,3	48,4	64,9	8	163	99,6	106
9	82,8	58,5	68,2	9	180	95,2	113
10	79	77,1	68,2	10	182	93,8	128
11	73,5	126	71,7	11	188	93,8	146
12	68,2	139	75,3	12	208	93,8	155
13	63,2	121	77,1	13	208	93,8	150
14	60,1	102	84,8	14	205	93,8	146
15	57	82,8	92,9	15	191	96,7	155
16	54,1	75,3	92,9	16	168	101	225
17	52,6	68,2	88,8	17	155	112	281
18	51,2	64,9	84,8	18	143	126	258
19	48,4	63,2	84,8	19	136	132	262

2017 год - минимальный				2010 год - максимальный			
Число	Месяц			Число	Месяц		
	VI	VII	VIII		VI	VII	VIII
20	48,4	63,2	99,4	20	130	132	293
21	51,2	63,2	126	21	124	126	285
22	51,2	61,6	156	22	118	118	254
23	49,8	57	188	23	113	116	225
24	49,8	55,5	202	24	109	120	205
25	48,4	52,6	195	25	104	116	188
26	47,1	51,2	209	26	98,1	115	174
27	45,7	52,6	209	27	95,2	110	166
28	44,9	57	202	28	95,2	107	155
29	44,1	60,1	191	29	93,8	104	146
30	43,2	64,9	178	30	95,2	101	138
31	-	63,2	165	31	-	101	134

Таблица 3.2

Ежедневные уровни воды за летний период р. Чикой – с. Поворот

2017 год				2010 год			
Число	Месяц			Число	Месяц		
	VI	VII	VIII		VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	4	8
1	142	93,1	119	1	661	212	229
2	135	91,3	119	2	838	208	229
3	130	89,5	115	3	945	215	225
4	128	89,5	113	4	805	254	225
5	123	89,5	107	5	545	265	222
6	123	93,1	105	6	459	265	219
7	126	98,7	105	7	410	265	222
8	130	96,8	105	8	392	258	225
9	135	95	109	9	378	239	229
10	142	93,1	115	10	430	232	243
11	142	96,8	123	11	454	215	269
12	144	113	132	12	488	208	280
13	144	149	139	13	509	202	317
14	139	178	151	14	587	199	333
15	128	189	167	15	571	192	333
16	123	175	178	16	503	192	344
17	121	159	183	17	469	202	415
18	117	149	183	18	444	246	514
19	111	142	186	19	410	309	624
20	111	132	189	20	374	374	661
21	107	128	192	21	340	356	735
22	103	132	229	22	313	344	818

2017 год				2010 год			
Число	Месяц			Число	Месяц		
	VI	VII	VIII		VI	VII	VIII
23	103	128	288	23	291	336	831
24	105	126	319	24	280	302	785
25	105	119	343	25	280	302	723
26	103	115	387	26	269	295	624
27	103	111	425	27	261	287	587
28	103	111	445	28	236	261	555
29	103	107	451	29	219	254	498
30	95	111	430	30	215	243	478
31	-	119	415	31	-	236	454

Построение совмещенных графиков колебания уровней в выше (ниже) расположенных створах и выделение на них соответствующих уровней воды по данным таблиц 3.1 – 3.2.

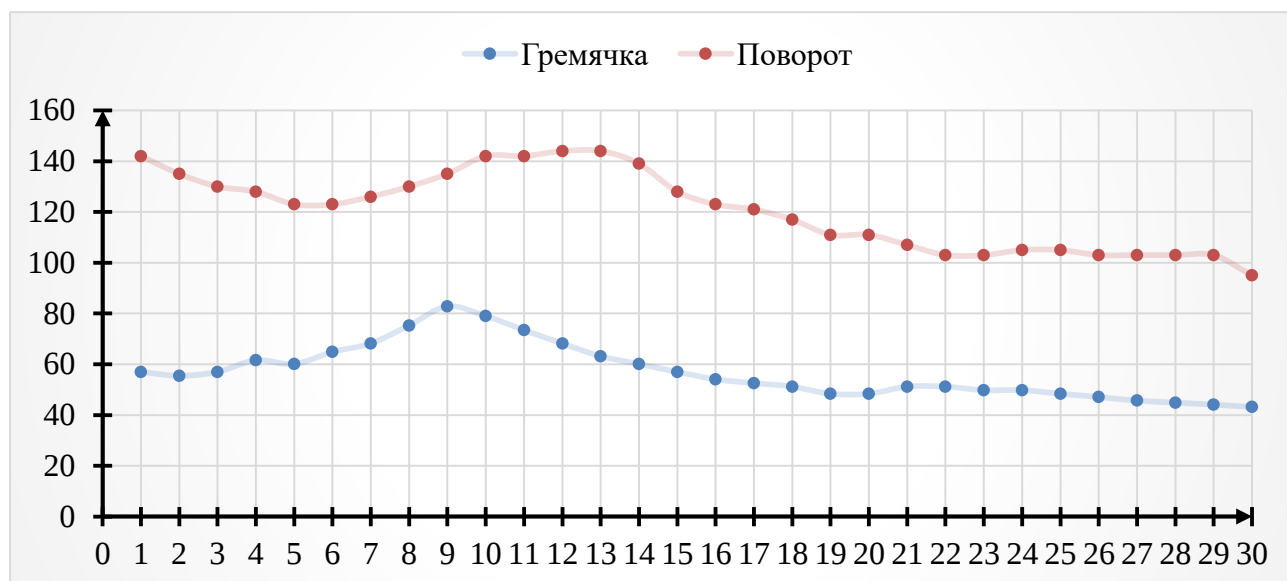


Рис. 3.1 Колебания минимальных уровней воды в верхнем створе р. Чикой - ст. Гремчка и в нижнем створе р. Чикой – ст. Поворот (июнь, 2017)

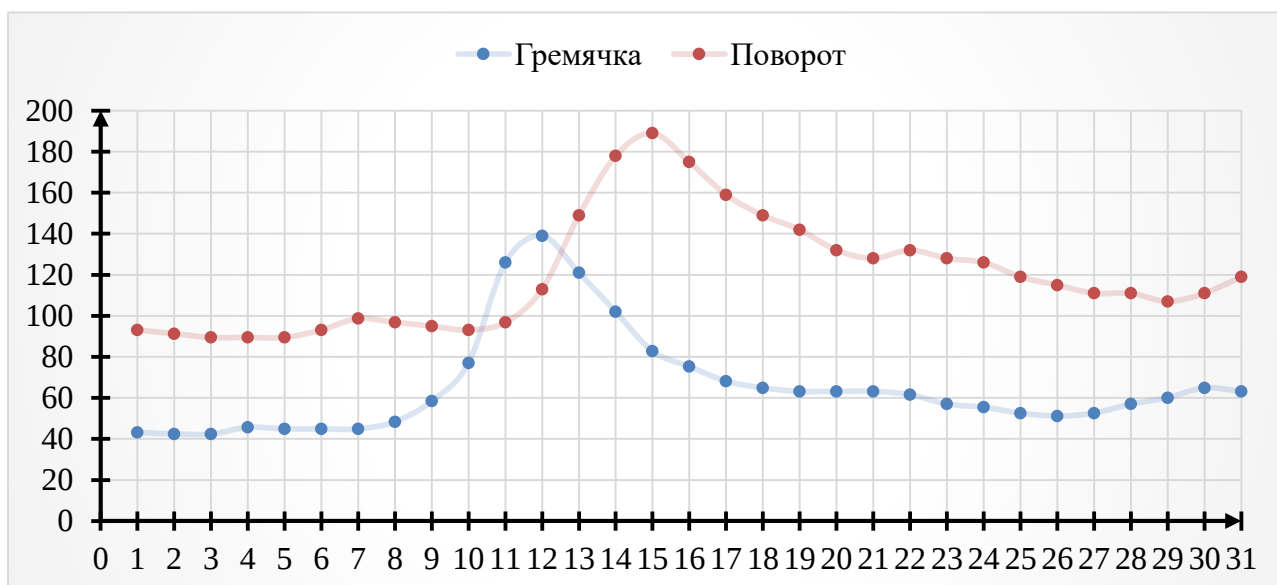


Рис. 3.2 Колебания минимальных уровней воды в верхнем створе р. Чикой - ст. Гремьячка и в нижнем створе р. Чикой – ст. Поворот (июль, 2017)

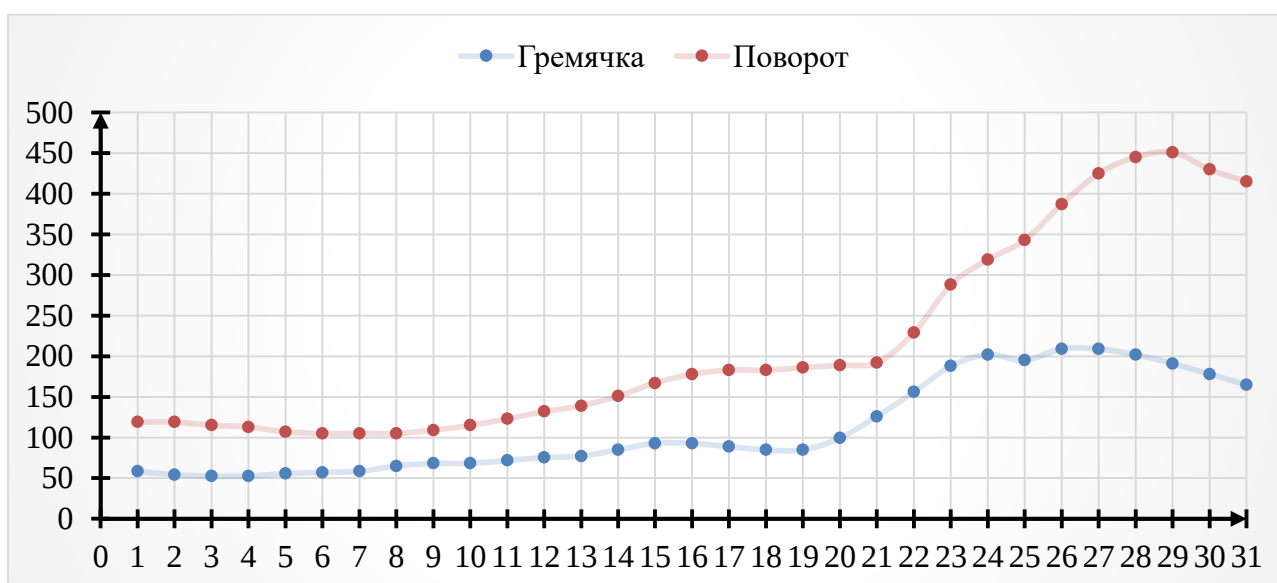


Рис. 3.3 Колебания минимальных уровней воды в верхнем створе р. Чикой - ст. Гремьячка и в нижнем створе р. Чикой – ст. Поворот (август, 2017)

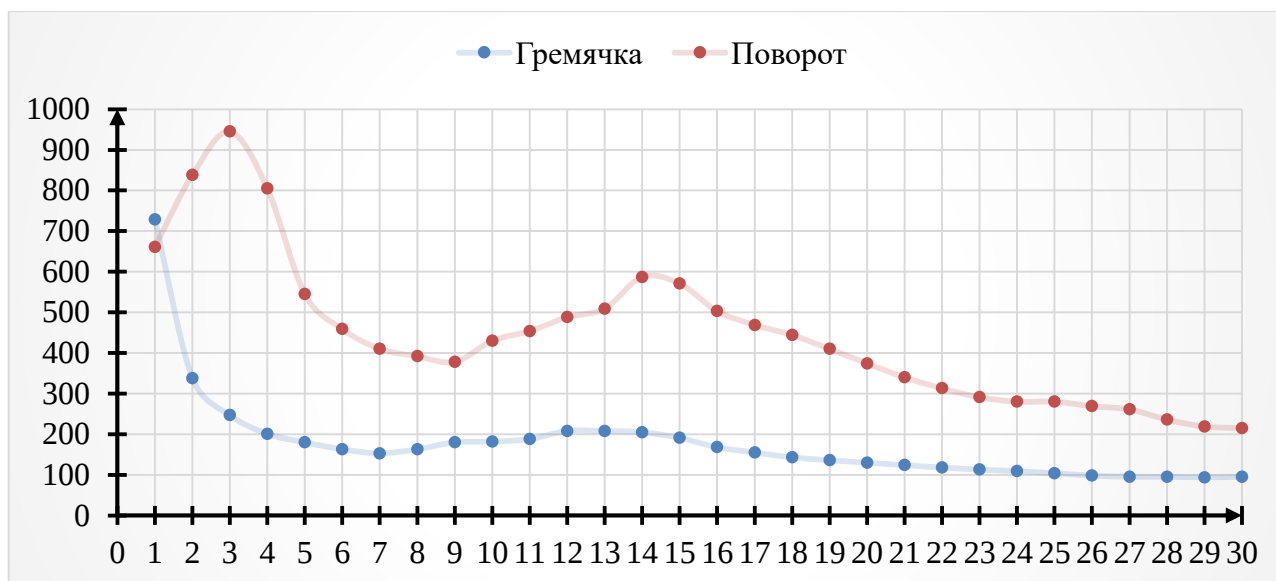


Рис. 3.4 Колебания максимальных уровней воды в верхнем створе р. Чикой - ст. Гремячка и в нижнем створе р. Чикой – ст. Поворот (июнь, 2010 г)

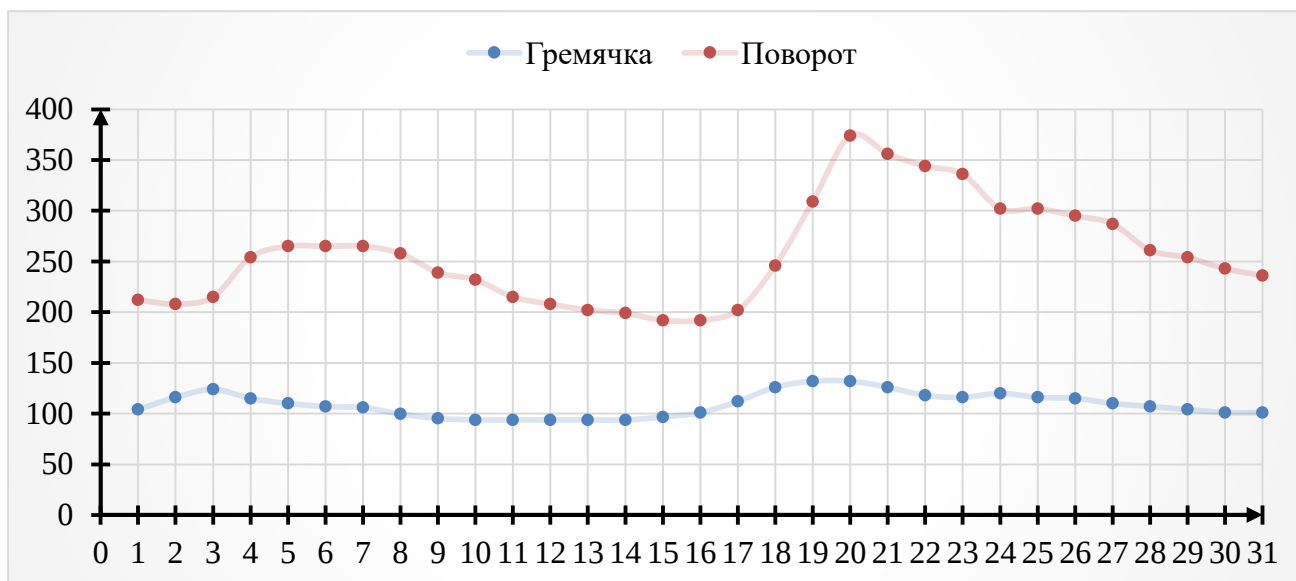


Рис. 3.5 Колебания максимальных уровней воды в верхнем створе р. Чикой - ст. Гремячка и в нижнем створе р. Чикой – ст. Поворот (июль, 2010 г)

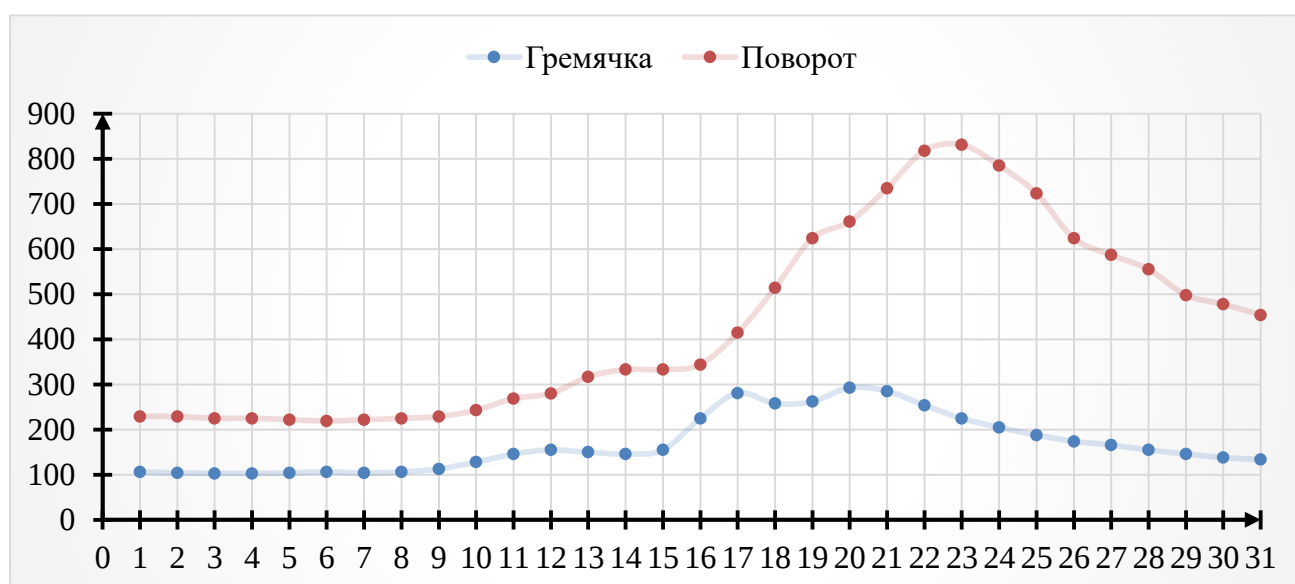


Рис. 3.6 Колебания максимальных уровней воды в верхнем створе р. Чикой - ст. Гремячка и в нижнем створе р. Чикой – ст. Поворот (август, 2010 г)

По графикам 3.1-3.6 находят пики паводков или половодий и определяют время добегания. Все данные заносятся в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Время добегания

Гремячка		Поворот		Время добегания, сут	Скорость добегания, $L=363$ км	Фаза хода уровней на створе
Дата	Н, см	Дата	Н, см			
09.июн	82.8	12.июн	144	3	121	Минимум
12.июл	139	15.июл	189	3	121	
26.авг	209	29.авг	451	3	121	
01.июн	729	03.июн	945	2	181,5	Максимум
12.июн	208	14.июн	587	2	181,5	
03.июл	124	05.июл	265	2	181,5	
19.июл	132	20.июл	374	1	363	
17.авг	281	23.авг	831	6	60,5	

Время добегания воды из верхнего створа (г/п Гремячка) до нижнего (г/п Поворот) составляет от 1 до 6 суток.

4. КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ УРОВНЕЙ РАСХОДОВ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПАВОДОЧНОЙ ВОЛНЫ

Предсказание хода уровней и расходов воды в речной системе основывается на знании законов движения паводочной волны.

В практических расчётах различают следующие виды прогнозов:

- прогнозы на безприточных участках;
- на приточных участках;
- для всей речной системы.

Наиболее просто задача краткосрочных прогнозов решается для безприточных участков.

Предсказание хода расходов в ниже расположенном створе сводится к решению уравнения следующего вида:

$$Q_t = Q_{B(t-\tau)} + \int_0^l q dl, \quad (4.1)$$

где Q_t – расход воды в ниже расположенном створе в момент времени t ; $Q_{B(t-\tau)}$ – расход воды в выше расположенном створе на момент времени $t-\tau$, где τ – время добегания паводочной волны; l – длина участка; q – приток воды в речную систему в пределах рассматриваемого участка.

На безприточном участке, приток воды на рассматриваемом участке складывается из подземной составляющей и поверхностной, причем поверхностный сток формируется за счёт выпавших осадков.

Таким образом, если известны расход воды в верхнем створе, приток воды в пределах рассматриваемого участка, а также время добегания паводочной волны от верхнего до нижнего створа, можно всегда определить ожидаемый расход в ниже расположенном створе.

Таким образом, в упрощенном виде уравнение (4.4) может быть записано в следующем виде:

$$Q_t = Q_{B(t-\tau)} + Q_{np}, \quad (4.2)$$

Прогнозы расходов и уровней воды по методу тенденций. В основе метода тенденции лежит экстраполяция хода уровней или расходов воды на некоторый период времени, исходя из закономерностей хода уровней или расходов воды за период, предшествующий моменту выпуска прогноза. Метод учитывает свойство гидрологических явлений сохранять тенденцию хода уровней или расходов воды в течение некоторого времени. Это свойство особенно присуще крупным рекам, на которых сток формируется с различных частей бассейна, и в ходе уровней (расходов) воды отмечаются продолжительные и плавные периоды подъема и спада. Способы прогноза по методу тенденции подразделяют на две группы: а) прогноз по линейной тенденции, б) прогноз по нелинейной тенденции.

Данный метод прогноза основан на свойстве гидрологических явлений, сохранять в течение некоторого времени одну и ту же закономерность.

Это позволяет производить экстраполяцию уровней и расходов воды на довольно значительный промежуток времени на больших и средних реках.

В практических расчетах используются два метода экстраполяции:

1) Экстраполяция уровней или расходов воды на основе учета закономерности хода уровней или расходов воды в рассматриваемом створе в течение предшествующего периода времени.

2) Экстраполяция уровней или расходов воды на основе кривых спадов половодья.

В первом случае используется формула:

$$H_t = H_0 + at + bt^2, \quad (4.3)$$

где H_t – уровень воды в рассматриваемом створе на момент времени t ; H_0 – уровень воды в начальный период времени ($t=0$).

В практических расчётах формула (4.3) записывается в следующем виде:

$$\frac{H_t - H_0}{t} = a + bt, \quad (4.4)$$

Иногда в практических расчётах используется уравнение:

$$D = \alpha \times \Delta, \quad (4.5)$$

где D – ход уровней или расходов за более длительный промежуток времени ($t=\Delta t_1+\Delta t_2$); Δ – ход уровней или расходов за короткий промежуток времени (Δt_1).

Таким образом Δt_2 представляет собой заблаговременность прогнозов.

Кривые спада половодья или паводка отражают закономерности истощения русловых и подземных составляющих запасов воды и позволяют производить прогноз хода уровней и расходов воды в рассматриваемом створе.

Основные факторы, влияющие на кривые спада:

- количество осадков на спаде;
- русловые запасы и их распределение;
- увлажненность предшествующего года;
- приток подземной составляющей в русловую сеть.

4.1. Прогнозы расходов и уровней воды по методу тенденций

При многоцелевом использовании водного объекта нередко приходится разрабатывать комплекс методик прогноза для большого числа створов, расположенных на основной реке и притоках. В таких случаях водосбор разбивают на ряд бассейнов. Для более надежного определения параметров все частные бассейны должны быть ограничены гидрометрическими створами, в

которых проводятся наблюдения за расходами (уровнями) воды и, как правило, применяются получим два типа частных бассейнов:

1) бассейны, тяготеющие к участкам рек, ограниченным одним или несколькими входными и выходным створами, в которых ведутся наблюдения за расходами или уровнями воды. Для этих бассейнов форма волны половодья (паводка) во многом определяется гидрографами входных створов. В отдельных случаях заметную роль на трансформацию расходов (уровней) воды может оказывать боковой приток.

2) бассейны, для которых имеются данные измерения расходов воды только для выходных створов рек. В некоторых случаях могут быть измерения расходов воды в ряде входных створов, однако связь их с расходами воды в замыкающем створе пренебрежимо мала. Для этих бассейнов характерно очень сильное изменение объема и формы волны паводка за счет притока воды к русловой сети. Поэтому главная задача состоит в расчете притока воды к русловой сети. Схемы прогноза для этих бассейнов значительно сложнее, чем для бассейнов первого типа.

Одной из важнейших задач статистики является определение в рядах динамики общей тенденции развития явления. На развитие явления во времени оказывают влияние факторы, различные по характеру и силе воздействия. Одни из них оказывают практически постоянное воздействие и формируют в рядах динамики определённую тенденцию развития. Воздействие же других факторов может быть кратковременным или носить случайный характер.

Основная тенденция (тренд) – изменение, определяющее общее направление развития, это систематическая составляющая долговременного действия.

Задача статистики – выявить общую тенденцию в изменении уровней ряда, освобождённую от действия различных случайных факторов. Часто по одному лишь внешнему виду ряда динамики её установить невозможно, поэтому

используют специальные методы обработки, позволяющие показать основную тенденцию ряда.

Изучение тренда включает два основных **этапа**:

- 1) ряд динамики проверяется на наличие тренда;
- 2) производится выравнивание временного ряда и непосредственное выделение тренда с экстраполяцией полученных результатов.

Метод тенденции – метод прогноза стока путем экстраполяции графика уровня или расхода воды в данном створе на некоторый срок вперед. Метод основан на предположении о постоянстве закона изменения уровня или расхода в период заблаговременности прогноза, т.е. на предположении, что существующая в настоящее время тенденция в изменении уровня или расхода сохранится неизменной в период заблаговременности прогноза. Под заблаговременностью прогноза понимается промежуток времени между составлением прогноза и датой осуществления предсказываемого явления. Метод тенденции учитывает свойство гидрологических явлений сохранять тенденцию в течении некоторого времени. Это свойство особенно присуще крупным рекам, в ходе уровней которых подъемы и спады характеризуются плавностью и продолжительностью. На средних реках возможность уверенного прогнозирования по этому методу уменьшается, так как режим характеризуется обычно пикообразностью, резкими и непродолжительными спадами.

На малых реках метод, где средняя продолжительность подъемов и спадов не превышает 5–6 дней, не может быть использован даже при заблаговременности 1 день.

Метод основан на свойстве гидрологических явлений сохранять в течение некоторого времени одну и ту же закономерность своего хода. Это позволяет производить экстраполяцию уровней и расходов воды на некоторый период времени, довольно значительный в низовьях больших и средних рек.

На практике применяются два способа экстраполяции:

Экстраполяция уровней (расходов) воды или их приращений на основе учета закономерностей хода уровней воды в данном створе в течение предшествующего периода времени;

Экстраполяция уровней (расходов) воды на основе типичных для данной реки форм хода уровней, например, кривых спада половодья.

В первом случае часто используются формулы вида:

$$H_t = H_0 + at + bt^2, \quad (4.6)$$

и

$$H_t = H_0 + at + ct^m, \quad (4.7)$$

где H_t – уровень воды в момент времени t ; H_0 – уровень воды в начальный момент времени ($t=0$); a, b, c, m – параметры.

Наряду с формулами (4.7) и (4.8) иногда используется соотношение:

$$D = \alpha \Delta, \quad (4.8)$$

где Δ – изменение уровня (расхода) воды за короткий период времени Δt_1 ; D – то же за более длительный период времени ($\Delta t_1 + \Delta t_2$). Очевидно, Δt_2 представляет собой заблаговременность прогнозов по формуле (4.8).

Кривые спада можно типизировать в зависимости от факторов, определяющих особенности спада половодья (паводка). К этим факторам относятся максимальный расход воды, количество осадков на спаде, распределение русловых запасов по длине реки и др. Типовые (расчетные) кривые спада устанавливаются графически или аналитически. В литературе известны различные приёмы установления типовых кривых спада (способы К.П. Воскресенского, А.В. Огиевского, Н.Я. Подвиженской и др.).

Способ К.П. Воскресенского сводится к построению средней кривой по ежегодным кривым спада, представленным в относительных величинах: расходы воды в долях максимального, время в долях общей продолжительности спада:

$$\frac{Q_t}{Q_{\max}} = f\left(\frac{t}{T}\right), \quad (4.9)$$

где Q_t – расход воды на t -й момент времени, считая от даты максимального расхода воды $Q_{\max}$; T – продолжительности спада.

Способ А.В. Огиевского предусматривает построение ряда типовых кривых по ежегодным кривым спада, сгруппированным по величине $Q_{\max}$. Этим приемом косвенно учитываются различия в ходе спада, связанные со степенью наполнения русла.

Н.Я. Подвишенская рекомендует определять расход воды на спаде по сумме:

$$Q_t = \overline{Q}_t + \Delta Q_t, \quad (4.10)$$

где Q_t – средняя величина расход воды t -го дня спада за многолетний период, определяемая по средней многолетней кривой $\overline{Q}_t = f(t)$; ΔQ_t – поправка к средней многолетней кривой спада, задаваемая графиком связи $\overline{Q}_t = f(Q)$ по значению t .

Кривую спада можно описать уравнениями вида:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-at}, \quad (4.11)$$

или:

$$Q_t = Q_0 \frac{1}{(1 + \beta t)^2}, \quad (4.12)$$

где Q_0 – расход воды в начальный момент времени ($t=0$); Q_t – расход воды в момент t ; α и β – параметры, которые зависят от особенностей строения речной сети бассейна, а также от распределения запасов воды в русловой сети и их пополнения.

Исследуя кривые спада половодья р. Оки у г. Муром, Е.С. Змиева принимала, что параметры β и α зависят от максимального времени руслового добегания от распределения запасов в русловой сети, а именно:

$$\beta = f\left(\frac{1,6}{\tau_{mp}}, \frac{W}{\bar{W}}\right), \quad (4.13)$$

$$\alpha = \varphi\left(\frac{2}{\tau_{mp}}, \frac{W}{\bar{W}}\right), \quad (4.14)$$

где W – вычисленные русловые запасы воды на дату максимального расхода; $\bar{W}$ – средняя величина W при данном $Q_{\max}$; τ_{mp} – максимальное время руслового добегания.

Таким образом, разработка методики прогноза расходов воды на спаде в этом случае сводится к нахождению приближённых зависимостей (4.13) или (4.14).

Чтобы получить кривую спада вида (4.12) рекомендуется сначала найти зависимость:

$$\bar{\beta} = \left(\frac{W}{\bar{W}}\right), \quad (4.15)$$

где $\bar{\beta}$ – среднее значение β для всей кривой спада половодья каждого года. Потом находится величина β для каждого для устанавливается зависимость:

$$\frac{\beta}{\bar{\beta}} = \varphi(t), \quad (4.16)$$

По этой зависимости при составлении прогнозов можно вычислить значение β .

Таким образом, для получения расчётных параметров формулы (4.15) необходимо:

1) Вычислить значения β для ежедневных расходов воды за многолетний период;

2) Вычислить значение β для каждого спада в целом, т.е. $\bar{\beta}$;

3) Вычислить ежегодные величины русловых запасов воды на дату наступления максимального расхода воды в расчётном створе (W);

4) Построить график связи $W = f(Q_{\max})$ и определить по нему $\bar{W}$ для каждого года;

5) Найти ежегодные значения $\frac{W}{\bar{W}}$;

6) Построить график $\bar{\beta} = \left(\frac{W}{\bar{W}} \right)$,

7) Построить типовые кривые $\frac{\beta}{\bar{\beta}} = \varphi(t)$,

Прогнозирование расходов воды на основе типовых кривых спада заслуживает предпочтения перед составлением прогнозов по формулам (4.2) – (4.4). Использование этих формул для прогнозов на спаде целесообразно в случае, когда данные наблюдений недостаточны для построения кривых спада, учитывающих гидрологические особенности отдельных лет. Эти формулы могут быть использованы также для прогнозов небольшой заблаговременности в период подъёма уровней воды.

Задание: Используя вышеописанные уравнения, получить расчётные формулы для прогноза уровней воды в период спада половодья.

Исходные данные: Ежедневные уровни воды за 20 дней после пика половодья р. Чикой – с. Гремячка за июнь 2010 г.

Решение 1. Определим параметры уравнения (4.1) на примере одного спада.

1) Преобразуем уравнение (4.6) в линейное, вводя обозначение:

$$x = \frac{H_t - H_0}{t} = a + bt, \quad (4.17)$$

Вычисляем по ежедневным уровням воды левую часть уравнения. Расчёт приводится в форме таблицы 4.1. За начальный принят уровень воды 1.VI, равный 729 см; время t отсчитываем от этой даты (столбец 4).

Таблица 4.1

Таблица к определению параметров уравнения $H_t = H_0 + at + bt^2$

Дата	H_t	$(H_t - 729)$ см	t сутки	$x = \frac{H_t - 729}{t}$
1	2	3	4	5
1.VI	729			
2.VI	338	-391	1	-391
3.VI	247	-482	2	-241
4.VI	201	-528	3	-176
5.VI	180	-549	4	-137,25
6.VI	163	-566	5	-113,2
7.VI	153	-576	6	-96
8.VI	163	-566	7	-80,857
9.VI	180	-549	8	-68,625
10.VI	182	-547	9	-60,778
11.VI	188	-541	10	-54,1
12.VI	208	-521	11	-47,364
13.VI	208	-521	12	-43,417
14.VI	205	-524	13	-40,308
15.VI	191	-538	14	-38,429
16.VI	168	-561	15	-37,4
17.VI	155	-574	16	-35,875
18.VI	143	-586	17	-34,471
19.VI	136	-593	18	-32,944
20.VI	130	-599	19	-31,526

Строим зависимость $x = \frac{H_t - 729}{t}$, рисунок 4.1.

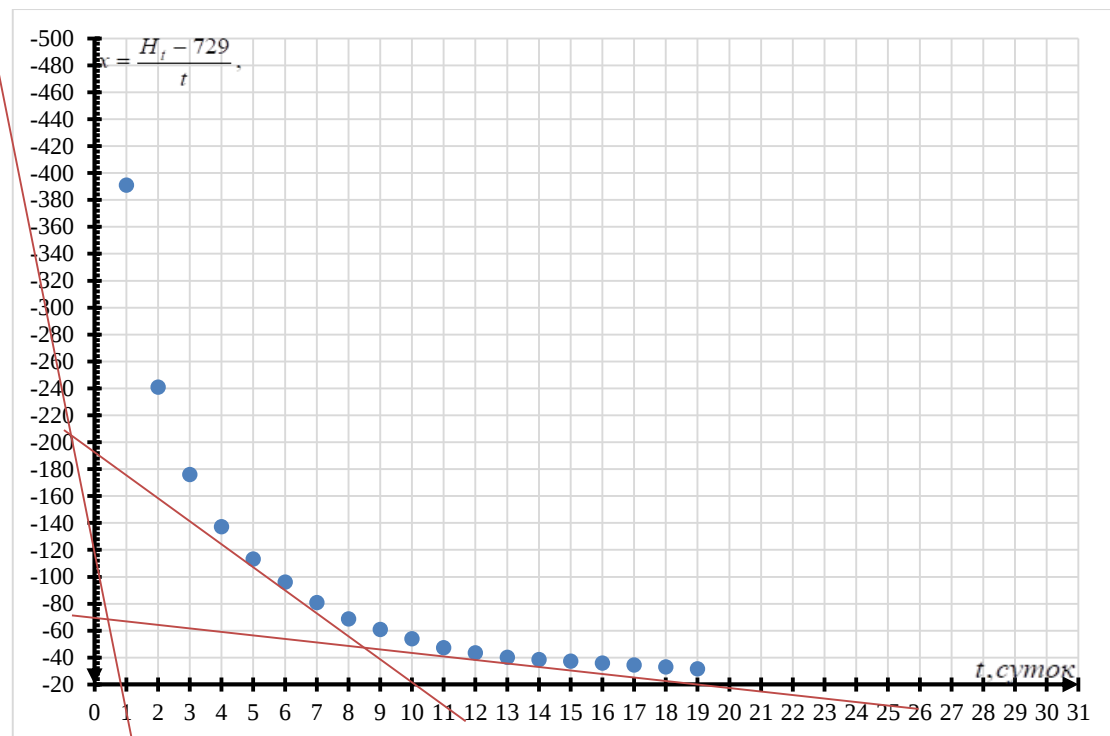


Рис. 4.1 График для определения параметров a и b

С 1 по 3.VI параметры a и b являются практически постоянными. Параметр a , т.е. отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, равен -484 , параметр b :

$$b = \frac{484 - 20}{4,3} = 107,9,$$

С 4.VI по 8.VI параметры a и b являются практически постоянными. Параметр a , т.е. отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, равен -201 , параметр b :

$$b = \frac{201 - 16}{11} = 16,8,$$

С 9.VI по 19.VI параметры a и b являются практически постоянными. Параметр a , т.е. отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, равен -78 , параметр b :

$$b = \frac{78 - 10}{23} = 2,9,$$

Таким образом, искомое уравнение будет иметь вид:

- с 1.VI по 4.VI

$$H_t = 729 - 484t + 107,9t^2,$$

- с 5.VI по 9.VI

$$H_t = 729 - 201t + 16,8t^2,$$

- с 10.VI по 20.VI

$$H_t = 729 - 78t + 2,9t^2,$$

Отметим, что расчетные прямые приближенно могли быть намечены по данным первых 3 дней. Это позволило бы предвычислять уровни воды по уравнению первой прямой 4-8.VI по уравнению второй прямой – после уточнения параметров, и с 9.VI по конец спада по уравнению третьей прямой. Необходимость уточнять параметры по мере развития паводка (половодья) является недостатком метода.

2. Для определения параметров уравнения (4.7) оно записывается в виде:

$$\lg(H_t - H_0) = \lg c + m \lg t,$$

3. Для прогноза по уравнению (4.8):

$$D = \alpha \Delta,$$

Вычисляем изменение уровня воды за короткий интервал Δ , на пример за 1 сутки, и за более длительный интервал D , например, за 3 суток (табл. 4.2). По данным таблицы 4.2 строим график связи $D=f(\Delta)$, который и служит в качестве прогнозного.

Таблица 4.2

Вычисление приращений уровней воды за 1 и 3 суток

Дата	Н см	Δ см	D см	Дата	Н см	Δ см	D см
1.VI	729	391	528	16.VI	168	13	32
2.VI	338	91	158	17.VI	155	12	25
3.VI	247	46	84	18.VI	143	7	19
4.VI	201	21	48	19.VI	136	6	18
5.VI	180	17	17	20.VI	130	6	17
6.VI	163	10	-17	21.VI	124	6	15
7.VI	153	-10	-29	22.VI	118	5	14
8.VI	163	-17	-25	23.VI	113	4	14,9
9.VI	180	-2	-28	24.VI	109	5	13,8
10.VI	182	-6	-26	25.VI	104	5,9	8,8
11.VI	188	-20	-17	26.VI	98,1	2,9	4,3

Дата	H см	Δ см	D см	Дата	H см	Δ см	D см
12.VI	208	0	17	27.VI	95,2	0	0
13.VI	208	3	40	28.VI	95,2	1,4	-8,8
14.VI	205	14	50	29.VI	93,8	-1,4	-22,2
15.VI	191	23	48	30.VI	95,2	-8,8	-28,8

По данным таблицы 4.2 (столбы 3 и 4) строится прогностическая зависимость. Связь односуточных и трехсуточных изменений уровней воды представляется графически с вычисленным уравнением регрессии (рисунок 4.2).

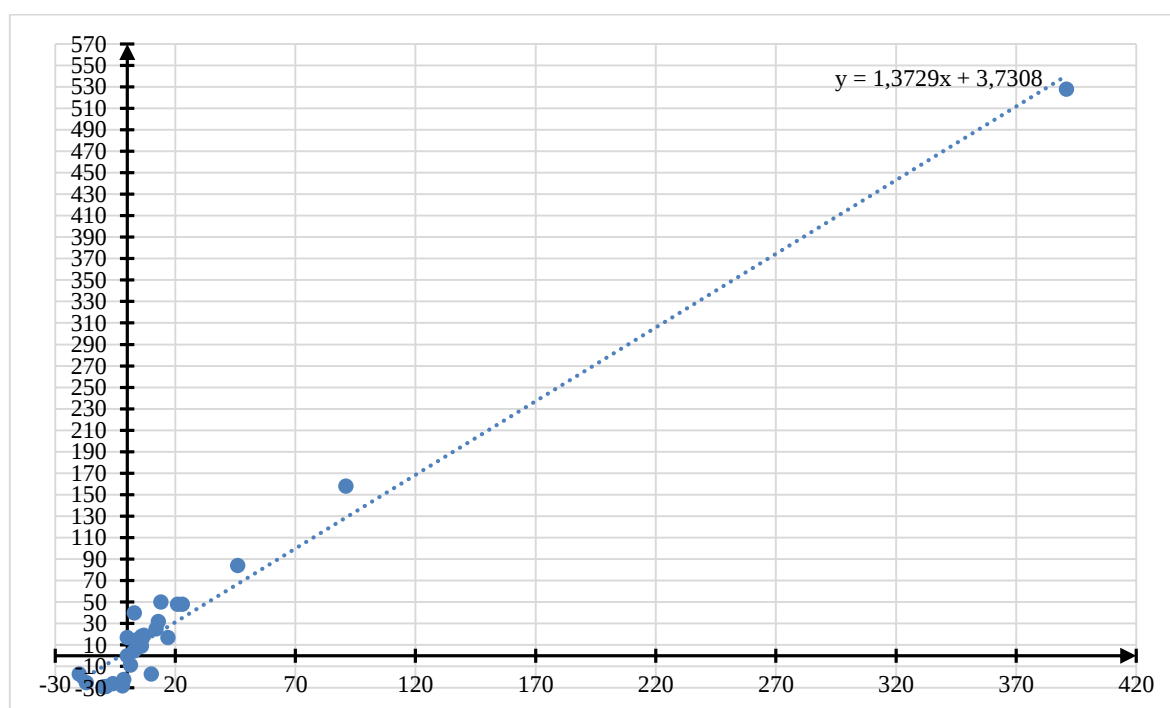


Рис. 4.2 График прогностической зависимости ρ Чикой с. Гремячка

Сравнение действительных и прогнозируемых расходов воды за июнь 2017 год приведено в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Сравнение действительных и прогнозируемых расходов воды за июнь 2017 год

Дата (n)	01.июн	02.июн	03.июн	04.июн	05.июн	06.июн	07.июн	08.июн	09.июн	10.июн
Действительное значение	142,0	135,0	130,0	128,0	123,0	123,0	126,0	130,0	135,0	142,0
Прогнозируемое значение	198,7	189,1	182,2	179,5	172,6	172,6	176,7	182,2	189,1	198,7
Дата (n)	11.июн	12.июн	13.июн	14.июн	15.июн	16.июн	17.июн	18.июн	19.июн	20.июн

Дата (п)	01.июн	02.июн	03.июн	04.июн	05.июн	06.июн	07.июн	08.июн	09.июн	10.июн
Действительное значение	142,0	144,0	144,0	139,0	128,0	123,0	121,0	117,0	111,0	111,0
Прогнозируемое значение	198,7	201,4	201,4	194,6	179,5	172,6	169,9	164,4	156,1	156,1
Дата (п)	21.июн	22.июн	23.июн	24.июн	25.июн	26.июн	27.июн	28.июн	29.июн	30.июн
Действительное значение	107,0	103,0	103,0	105,0	105,0	103,0	103,0	103,0	103,0	95,0
Прогнозируемое значение	150,6	145,1	145,1	147,9	147,9	145,1	145,1	145,1	145,1	134,2

Задание: Экстраполяция уровней или расходов воды на основе учета закономерности хода уровней или расходов воды в рассматриваемом створе в течение предшествующего периода времени.

Исходные данные: ежедневные уровни периода спада половодья для года максимальных расходов воды р. Чикой – ст. Поворот (июнь, 2010 год) за имеющийся ряд наблюдений.

Таблица 4.4

Данные для построения кривой спадов половодья

Дата	$H_t, \text{см}$	$H_t - \text{max}$	$t_{\text{сутки}}$	x
1	2	3	4	5
3.VI	945	0	0	
4.VI	805	-140	1	-140
5.VI	545	-400	2	-200
6.VI	459	-486	3	-162
7.VI	410	-535	4	-133,75
8.VI	392	-553	5	-110,6
9.VI	378	-567	6	-94,5
10.VI	430	-515	7	-73,571
11.VI	454	-491	8	-61,375
12.VI	488	-457	9	-50,778
13.VI	509	-436	10	-43,6
14.VI	587	-358	11	-32,545
15.VI	571	-374	12	-31,167
16.VI	503	-442	13	-34
17.VI	469	-476	14	-34
18.VI	444	-501	15	-33,4

На основе данных таблицы 4.4 строится кривая спадов половодья. Производится экстраполяция и находятся параметры a и b уравнения хода уровней в рассматриваемом створе.

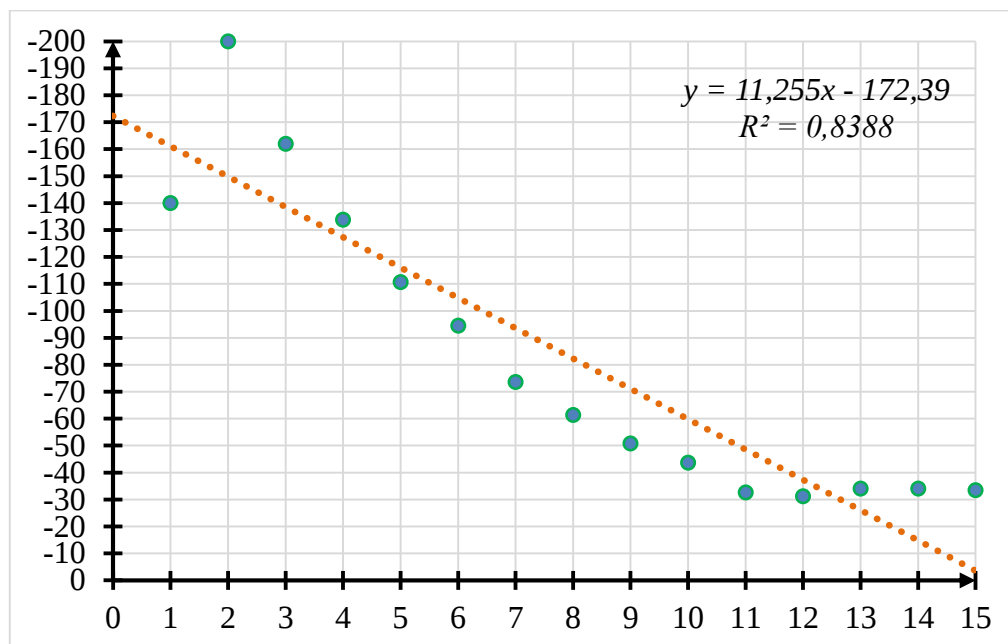


Рис. 4.3 Экстраполяция кривой спадов половодья

Параметр $a = -172,39$; параметр $b = 11,3$.

Закономерность хода уровней в рассматриваемом створе описывается уравнением:

$$H_t = 945 + 11,3t - 172,39t^2,$$

Таблица 4.5

Вычисление приращений уровней воды за 1 и 3 суток

Дата	H см	Δ см	D см
1	2	3	4
3.VI	945	140	486
4.VI	805	260	395
5.VI	545	86	153
6.VI	459	49	81
7.VI	410	18	-20
8.VI	392	14	-62
9.VI	378	-52	-110
10.VI	430	-24	-79
11.VI	454	-34	-133
12.VI	488	-21	-83
13.VI	509	-78	6

Дата	H см	Δ см	D см
14.VI	587	16	118
15.VI	571	68	127
16.VI	503	34	93
17.VI	469	25	95
18.VI	444	34	104

По данным таблицы 4.5 (столбы 3 и 4) строится прогностическая зависимость. Связь односуточных и трехсуточных изменений уровней воды представляется графически с вычисленным уравнением регрессии (рис. 4.4).

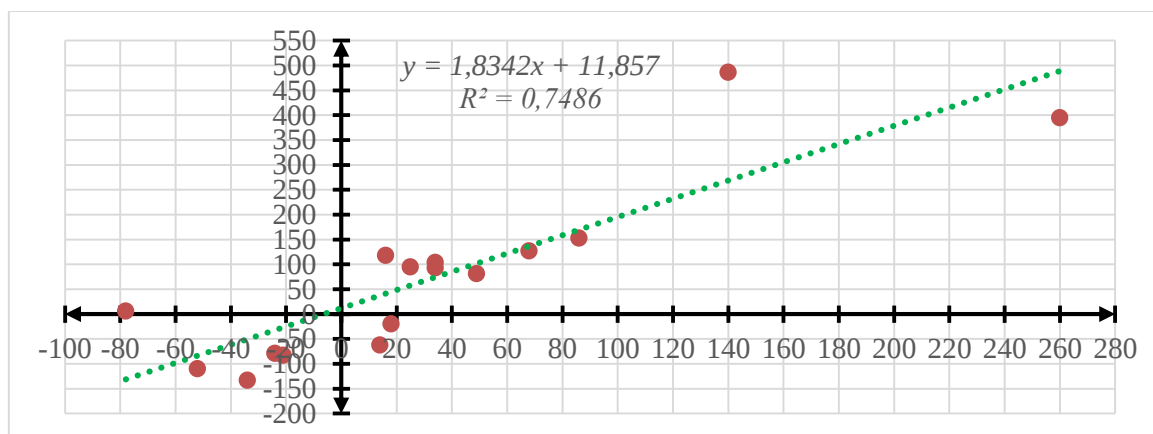


Рис. 4.4 График прогностической зависимости р Чикой с. Поворот

Таблица 4.6

Прогноз уровней воды по методу тенденции

Дата	Наблюдаемый H	$t_{\text{сутки}}$	Прогнозируемый H
3.VI	945	0	1745
4.VI	805	1	1488
5.VI	545	2	1011
6.VI	459	3	854
7.VI	410	4	764
8.VI	392	5	731
9.VI	378	6	705
10.VI	430	7	801
11.VI	454	8	845
12.VI	488	9	907
13.VI	509	10	945
14.VI	587	11	1089
15.VI	571	12	1059
16.VI	503	13	934
17.VI	469	14	872
18.VI	444	15	826

4.2. Способы прогноза по соответственным уровням и расходам воды

Под временем добегания воды на участке реки понимается время, которое необходимо для того, чтобы зафиксированный в верхнем створе участка расход воды достиг нижнего створа. Временем добегания часто называют также разность между сроками наступления пиков волны паводка на нижнем и верхнем постах участка реки.

Время добегания связано со средней скоростью течения потока на участке реки. Теоретически для правильных призматических русел скорость перемещения волны паводка должна превышать скорость течения. Установлены даже приближенные соотношения этих скоростей для различных форм русла при заданных параметрах его шероховатости. Например, для широкого параболического русла, исходя из формулы Шези, отношение скорости перемещения волны паводка к средней скорости течения составляет приблизительно $\frac{u}{v} = \frac{4}{3}$.

Для естественных русел в силу многообразия поперечных сечений и неодинаковых уклонов различие этих скоростей, судя по данным наблюдений, меньше, чем дает теория, и в ряде случаев скорость добегания волны паводка можно в первом приближении приравнять к средней скорости течения на участке реки.

Приведенное выше определение времени добегания как времени, в течение которого заданный расход перемещается из верхнего створа бесприточного участка реки в нижний, является в некоторой мере условным. Строго говоря, водная масса, соответствующая данному расходу в верхнем створе, проходит нижний створ неодновременно, а различными долями в течение некоторого промежутка времени. Но для практических расчетов эта условная трактовка времени добегания значительно удобнее.

Связи соответственных уровней могут быть установлены известными способами линейной корреляции или графически. И в том и в другом случае

необходимо определить время пробега гребня волны паводка между постами в зависимости от высоты самой волны. Без этого прогноз уровня не может быть привязан ко времени.

Теснота и вид связи соответственных уровней определяются несколькими факторами. Главными из них являются относительная величина и изменчивость бокового притока на участке реки, устойчивость русла и его морфометрические особенности, определяющие вид кривых расходов и степень трансформации волны паводка.

Для объединения всех частных бассейнов в одну систему необходимо задать условия их сопряжения. В общем случае имеются две возможности:

1) если расходы (уровни) воды выходного створа реки верхнего бассейна до момента выпуска прогноза заданы, то их используют на входе следующего за ним участка, а на период заблаговременности расходы принимают равными ожидаемым по прогнозу расходам на выходе верхнего участка:

$$q_n(t) = \begin{cases} Q_{n-1}(t) & \text{при } t \leq t_0 \\ Q_{n-1}^!(t) & \text{при } t > t_0 \end{cases}$$

где $q_n(t)$ – расходы воды на входе n -го участка; $Q_{n-1}(t)$ – фактические расходы воды на выходе $(n-1)$ -го участка; $Q_{n-1}^!(t)$ – ожидаемые расходы воды на выходе $(n-1)$ -го участка.

2) если выходные расходы (уровни) воды верхнего участка реки до момента выпуска прогноза не заданы, то на входе следующего за ним участка" используют расходы» рассчитанные на выходе верхнего участка для всего интервала времени:

$$q_n(t) = Q_{n-1}^!(t)$$

Особенности разработки схем прогноза для речных систем рассмотрены на примерах.

Пример краткосрочного прогноза расходов воды на основе использования закономерностей движения паводочной волны на примере р. Чикой приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Краткосрочные прогнозы расходов воды на основе использования закономерностей движения паводочной волны на примере р. Чикой

Дата (н)	Расходы воды, м³/с			$Q_{cp} = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{3}$	$\Delta Q_1 = Q_{1n} - Q_{1n-1}$	$\Delta Q_2 = Q_{2n} - Q_{2n-1}$	$\Delta Q_{cp} = Q_{cp,n} - Q_{cp,n-1}$	$\Delta W_1 = \tau_d \times \frac{\Delta Q_1}{2}$	$\Delta W_2 = \tau_d \times \frac{\Delta Q_2}{2}$	$\Delta W_{cp} = \tau_d \times \frac{\Delta Q_{cp}}{2}$	$\tau_{d-a} = f(Q_{cp})$	$\Delta W_3 = \tau_{d-a} \times \Delta Q_{cp}$	$\Sigma \Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3$	$Q_{cp,3} = \frac{(Q_{3n} + Q_{3n-1})}{2}$	$q = \frac{Q_{cp} + \Sigma \Delta W}{3}$
	с. Семиозерье, Q_1	с. Гремячка, Q_2	с. Поворот, Q_3												
01.июн	33,1	729	661	474											
02.июн	30,2	338	838	402	-2,9	-391	-72	-4,50	-404,69	-98	1,4	-98	-507	749,5	243
03.июн	29,2	247	945	407	-1	-91	5	-1,55	-94,19	7	1,4	7	-89	891,5	803
04.июн	26,4	201	805	344	-2,8	-46	-63	-4,34	-47,61	-85	1,4	-85	-137	875	738
05.июн	23	180	545	249	-3,4	-21	-95	-5,27	-21,74	-128	1,4	-128	-155	675	520
06.июн	18,9	163	459	214	-4,1	-17	-36	-6,36	-17,60	-48	1,4	-48	-72	502	430
07.июн	18,9	153	410	194	0	-10	-20	0,00	-10,35	-27	1,4	-27	-37	434,5	398
08.июн	21,3	163	392	192	2,4	10	-2	3,72	10,35	-3	1,4	-3	12	401	413
09.июн	24,7	180	378	194	3,4	17	2	5,27	17,60	3	1,4	3	26	385	411
10.июн	21,3	182	430	211	-3,4	2	17	-5,27	2,07	23	1,4	23	20	404	424
11.июн	21,3	188	454	221	0	6	10	0,00	6,21	14	1,4	14	20	442	462
12.июн	25,6	208	488	241	4,3	20	19	6,67	20,70	26	1,4	26	54	471	525
13.июн	23	208	509	247	-2,6	0	6	-4,03	0,00	8	1,4	8	4	498,5	503
14.июн	19,6	205	587	271	-3,4	-3	24	-5,27	-3,11	32	1,4	32	24	548	572
15.июн	17,6	191	571	260	-2	-14	-11	-3,10	-14,49	-14	1,4	-14	-32	579	547

В ряде случаев существенное влияние на тесноту связи соответственных уровней может оказывать недостаточная репрезентативность и точность самих гидрометрических данных. Чем больше относительная величина бокового притока и его изменчивость, тем менее тесной оказывается связь соответственных уровней. Неустойчивость русла в створах постов также влечет за собой снижение тесноты связи, а, следовательно, снижение точности прогнозов. На реках с легко размываемым руслом устойчивая связь соответственных уровней вообще невозможна.

Различный характер трансформации различных волн паводка также сказывается на снижении тесноты связи соответственных уровней, особенно в тех случаях, когда для их построения используются данные об уровнях на подъеме и спаде, а не только максимумы и минимумы. Для повышения тесноты таких связей их обычно строят отдельно для фазы подъема и фазы спада. Этим в некоторой мере учитывается неоднозначность кривых расходов на подъеме и спаде паводка.

Практические приемы определения соответственных уровней. Наиболее просто определение соответственных уровней выполняется путем сопоставления графиков колебания уровня воды на двух постах и нахождения на них характерных точек. К числу таких характерных точек относятся максимумы и минимумы уровня

Наиболее просто в качестве первого приближения время добегания на участке реки можно определить, как разность между датами наступления пика паводка на нижнем и верхнем постах. Для этого используются таблицы ежедневных расходов или уровней воды за возможно длительный период времени, чтобы можно было установить зависимость времени добегания от расхода. Для малых рек с резкими колебаниями расхода необходимо пользоваться данными срочных наблюдений или лентами самописцев уровня.

Время добегания (τ) на бесприточном участке реки зависит от длины участка (l), уровня воды (H), уклона водной поверхности (I), формы поперечного сечения (k), шероховатости русла (n).

Определение времени добегания воды на участке реки на основе принципа наименьших погрешностей заключается в следующем. Задаются несколькими приближенными значениями времени добегания между створами и для каждого значения строят график соответственных уровней воды. Наиболее близким к реальному будет то время добегания, которому соответствует наиболее тесная связь.

Способ расчета времени добегания на участке реки, предложенный Г. П. Калининым, заключается в следующем. Вначале по данным за прошлые годы определяют даты наступления какого-либо одного произвольно выбранного уровня воды в верхнем створе. Затем, задавшись несколькими наиболее возможными для выбранного участка значениями времени добегания, для каждого из них выбирают уровни воды в нижнем створе, которые соответствуют исходному уровню в верхнем створе, и вычисляют среднее отклонение (без учета знака) этих уровней воды от их среднего значения. Окончательно принимают то время добегания, при котором отклонение будет минимальным. Аналогично указанному проводят расчеты для различных исходных уровней в верхнем створе. После этого строят графики времени добегания и соответственных уровней.

Основным способом определения времени добегания является построение совмещенных графиков колебания уровней (расходов) верхнего и нижнего створов и выделение на них соответственных уровней. Под соответственными уровнями воды понимают однородные по фазе уровни, для которых характерно прохождение через верхний и нижний створы одного и того же поперечного сечения паводка. Фазовооднородные уровни легче всего установить по точкам перегиба – максимума и минимума. На нижнем створе участка фазовооднородные уровни наблюдаются несколько позже по сравнению с прохождением их через верхний створ, это время соответствует продолжительности добегания воды (τ) между створами.

Расчеты целесообразно выполнять в табличной форме. Данные о соответственных уровнях записываются в таблицу, где по разности наступления

уровней в створах определяется время добегания. В таблице фиксируется фаза хода уровня на верхнем посту (пик, спад).

Целесообразно иметь 15 – 20 пар соответственных уровней воды, освещающих всю амплитуду их колебания.

Расчет времени добегания на примере р. Чикой представлен ниже.

Таблица 4.8

Соответственные уровни воды и время добегания по р. Чикой на участке г/п Гремячка – г/п Поворот

Дата	Гремячка	Дата	Поворот	Время добегания
01.июн	729	03.июн	945	2
03.июн	247	07.июн	410	4
09.июн	180	12.июн	488	3
12.июн	208	14.июн	587	2
15.июн	191	19.июн	410	4
19.июн	136	22.июн	313	3
25.июн	104	27.июн	261	2
27.июн	95,2	30.июн	215	3

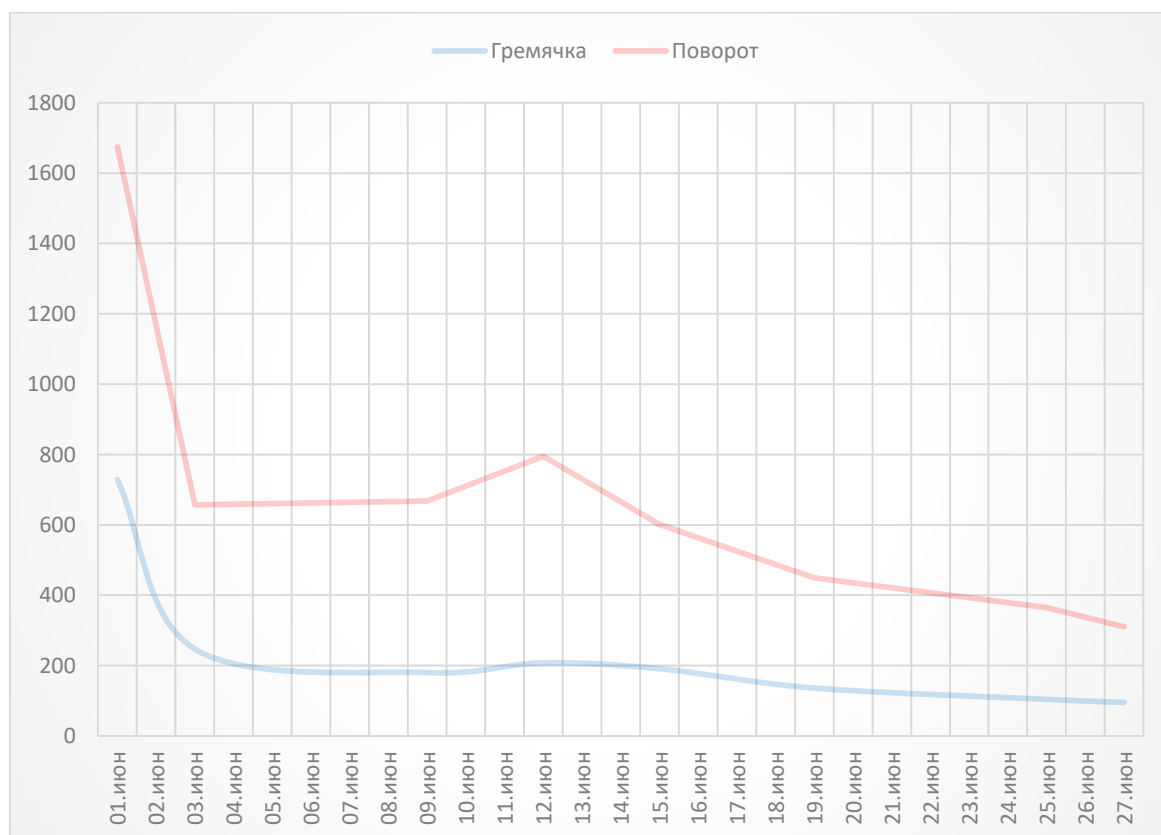


Рис. 4.2 График времени добегания

Из совмещённого графика гидрографов стока гидропост с.Гремячка и с. Поворот видно, что пик паводка который для г/п Гремячка проходит 1 июня , в то время как этот же паводок через г/п Поворот отмечен 3 июня. Таким образом, график гидрографов наглядно показывает, что прохождение паводков через вышеуказанные гидропосты составляет в разнице 2 суток.

Другой способ прогноза времени добегания основан на использовании средней скорости течения на участке, т.е.:

$$\tau = \frac{L}{v_n} \quad (4.18)$$

где L – длина участка; v_n – скорость движения паводка.

Время добегания для участка реки чикой с.Гремячка и с. Поворот:

$$\tau = \frac{(385 - 22) \times 1000}{1,3 \times 60 \times 60 \times 24} = 3,23 \text{ суток},$$

Сравнение полученных результатов по графической зависимости гидрографов стока, а также результатов зависимостей по формуле 4.18 показывает, что результаты расчётов по формуле не совсем совпадают. Это можно объяснить следующим в зависимости 4.18 была принята средняя скорость движения паводков, а она в процессе нарастания паводка возрастает, поэтому происходит наложения паводочной волны и средней скорости с течением времени нарастает. Кроме того, необходимо так же делать поправку на время производства наблюдения, которые производятся два раза в сутки утром 8:00 и вечером в 20:00. Поэтому пик паводка может проходить между указанными наблюдениями, что так же влияет на время добегания.

Известно, что в естественных условиях:

$$v_n = v, \quad (4.19)$$

где v – средняя скорость течения.

Тогда:

$$\tau = \frac{L}{v} = \frac{2L}{v_B + v_H} \quad (4.20)$$

где v_B и v_H – средние скорости течения в ограничивающих участок створах.

Соответственные уровни воды проще всего установить по совмещенному графику колебания уровней воды верхнего и нижнего створов. Этот способ применим при достаточно большом числе переломных точек.

Если же ход уровней плавный и имеется лишь один пик в период половодья, то для определения соответственных уровней предложен следующий способ. В основе его лежит предпосылка о пропорциональности между высотами паводков и высотами соответственных точек, над основанием графика, изображающего ход уровней или расходов паводков в верхнем и нижнем створах, т. е. на соотношении:

$$\frac{h_B}{h_H} = \frac{H_B}{H_H} \quad (4.21)$$

где h_B и h_H – высоты соответственных точек над основанием паводка в верхнем и нижнем створах; H_B и H_H – максимальная высота паводка над основанием в верхнем и нижнем створах.

Таким образом, зная H_B и H_H и задаваясь определенными значениями h_B , можно легко определить соответственные значения h_H .

Иногда для определения соответственных уровней и времени добегания при плавном ходе стока строят совмещенные графики колебания изменения уровней воды. По этим графикам устанавливаются дополнительные соответственные точки и переносятся на совмещенные графики колебания уровней воды верхнего и нижнего створов.

А.В. Огиевский предложил способ определения соответственных уровней с помощью кривых расходов, построенных для верхнего и нижнего створов во втором и третьем квадрантах (рисунок 4.3).

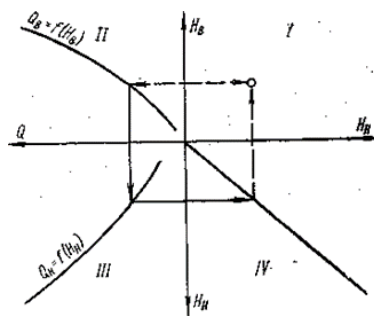


Рис. 4.3 Определение соответственных уровней путем использования кривых расходов воды

Задаваясь кривых расходов соответственные уровни на нижнем створе. Из третьего квадранта полученные значения переносятся в первый, где и строится график связи соответственных уровней воды. Время добегания устанавливается по разности дат наступления соответственных уровней. Дата наступления установленного по графику связи уровня нижнего створа определяется по таблице ежедневных уровней.

4.2.2. Прогноз уровней и расходов воды на приточных участках рек

4.2.2.1. Формирование расходов воды на приточном участке реки

Основой при разработке способов прогноза уровня (расхода) воды для приточного участка является карта изохрон руслового добегания воды в бассейне до замыкающего створа. Для ее построения по отдельным участкам рек определяют время добегания, которое наносят на карту (схему) речной сети. По этим данным на карте проводят линии с одинаковыми значениями времени руслового добегания, т. е. изохроны.

Карты можно строить для периодов разной водности реки (высоких, средних и низких уровней воды). Если влияние промежуточной приточности не позволяет достаточно точно' определить время добегания на некоторых участках, то его приближенно можно установить с учетом средней скорости добегания по участкам рек и притоков. В данном случае скорость добегания может быть

вычислена как среднее из скоростей течения воды на ближайшем верхнем и нижнем постах (створах).

Представим себе участок реки с несколькими притоками (рис. 4.4). Количество воды, протекающее в реке в различных местах этого участка, будет различным. Ниже впадения первого притока к расходу воды, который имела река, прибавляется расход этого притока. К этому суммарному расходу воды добавится затем расход второго притока.

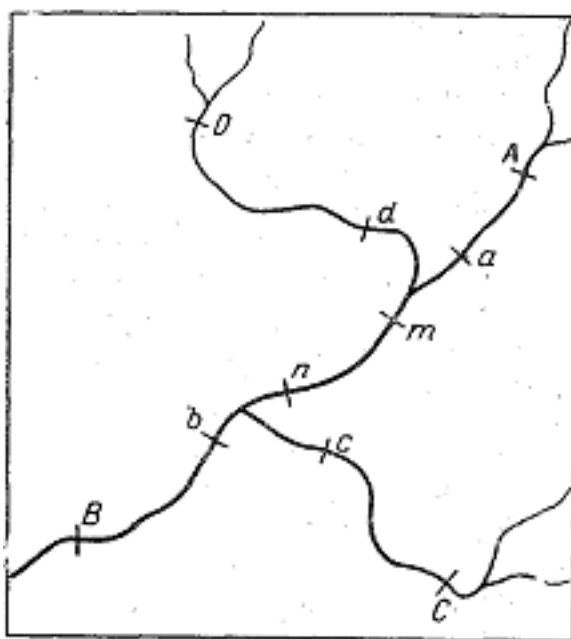


Рис. 4.4 Схема приточного участка реки

Таким образом, в итоге количество воды, притекающее к нижнему створу, складывается из расхода главной реки и расходов ее притоков. При этом неизбежно сказывается регулирующее действие русловой емкости и взаимное влияние подпоров в местах слияния притоков с главной рекой.

Количество воды, которое протекает по главной реке и ее притокам в разное время, может быть самым различным. В одних случаях основная волна паводка может идти по главной реке, в других – паводок может сформироваться на одном из притоков, а в-третьих – на другом. Может быть и такой случай, когда паводок формируется одновременно на обоих притоках и главной реке.

Не одновременность прохождения волн паводков на главной реке и ее притоках является причиной того, что время наступления пика паводка в нижнем створе в значительной мере определяется наложением волн. Поэтому на приточных участках, особенно если притоки многоводны, правильно определить время пробега воды по времени наступления пиков паводка часто не представляется возможным. Из-за различного во времени наложения волн ошибки при таком определении времени пробега воды могут быть значительны.

В тех случаях, когда паводки на притоках опережают паводок на главной реке, время между наступлением максимумов уровня на верхнем и нижнем постах участка сокращается и, наоборот, когда паводки на притоках запаздывают, это время увеличивается. Таким образом, определяя время пробега по времени наступления максимумов и минимумов уровня, мы в одних случаях получим его преуменьшенным, а в других преувеличенным.

Из сказанного следует, что правильное определение действительного времени пробега воды на приточном участке реки представляет собой задачу, значительно более сложную, чем на бесприточном участке. Для решения этой задачи требуется значительно больше гидрометрических данных.

Таким образом, единого универсального приема определения времени добегания воды на приточном участке нет. Поэтому рассмотрим несколько приемов, применение которых зависит от конкретных условий того или иного участка реки, а также наличия соответствующих гидрометрических данных.

4.2.2.2 Определение времени добегания воды по промежуточным участкам

Этот прием является основным. Однако практическое его применение к конкретным участкам зависит от характера распределения боковой приточности и наличия гидрометрических или водомерных постов. В основе приема лежит

известное уже определение времени или скорости добегания воды по соответственным уровням на слабоприточных участках.

Используя схему приточного участка речной системы, которая представлена на рисунке 4.4 рассмотрим более подробно порядок определения времени добегания воды от постов *A*, *C* и *D* до нижнего створа *B*. Буквами: *a*, *b*, *c*, *d*, *n*, *m* на этой схеме обозначены промежуточные посты, данные которых должны использоваться при определении времени добегания.

Если промежуточные участки *A-a*, *D-d*, *C-c*, *B-b* и *m-n* слабоприточны, то для каждого из них время добегания можно определить по соответственным уровням. Определив таким путем время добегания для промежуточных бесприточных участков τ_{A-a} , τ_{B-b} и так далее и зная длину каждого из этих участков l_n , вычисляется средняя скорость добегания воды в км/сутки:

$$v_{A-a} = \frac{l_{A-a}}{\tau_{A-a}} \quad (4.22)$$

После этого определяется средняя скорость добегания воды на промежуточных приточных участках:

- для участка *a-m* эта скорость принимается средней между v_{A-a} и v_{m-n} и т.д., т.е.:

$$v_{a-m} = \frac{v_{A-a} + v_{m-n}}{2} \quad (4.23)$$

- для участка *d-m*:

$$v_{d-m} = \frac{v_{D-d} + v_{m-n}}{2} \quad (4.24)$$

- для участка *c-b*:

$$v_{c-b} = \frac{v_{C-c} + v_{B-b}}{2} \quad (4.25)$$

- для участка $n-b$:

$$v_{a-m} = \frac{v_{m-n} + v_{B-b}}{2} \quad (4.26)$$

Зная протяженность каждого из этих участков, легко определить время добегания воды:

$$\tau_{a-m} = \frac{l_{a-n}}{v_{a-n}} \quad \text{и} \quad \tau_{d-m} = \frac{l_{d-m}}{v_{d-m}} \quad (4.27)$$

Общее время добегания воды на участках $A-B$, $C-B$ и $D-B$ определяется путем суммирования.

Если скорости добегания на промежуточных участках окажутся зависящими от высоты уровня, то для различных их значений находят свои величины этих скоростей, и суммарное время добегания воды τ_{A-B} , τ_{C-B} , τ_{D-B} устанавливается соответственно для различных уровней или расходов верхних постов A , C , D .

При определении времени добегания описанным выше путем требуется дополнительная проверка, которая сводится к следующему.

1. Путем тщательного сопоставления гидрографов или графиков колебания уровня по основным постам A , B , C и D отбираются такие периоды, когда значительные их изменения наблюдались только на основной реке, а на притоках в это время они сохранялись устойчивыми. Отобрав такие периоды, по характерным переломным точкам и по кривым суточных изменений уровня определяют время добегания воды на участке $A-B$ основной реки, которое и сопоставляют с ранее установленным.

2. Если по всем основным постам A , B , C и D имеются таблицы ежедневных расходов за многолетний период наблюдений, то производят сопоставление суммарного гидрографа верхних створов $Q_A + Q_C + Q_D = f(T)$ и фактического

гидрографа нижнего поста $Q_B=f(T)$. Для этого, приняв ранее установленное время добегания τ_{A-B} , τ_{C-B} и τ_{D-B} , суммируют соответственные расходы Q_A , Q_C , Q_D строят совмещенные графики суммы этих расходов с фактическим гидрографом нижнего поста. Хорошее соответствие в ходе изменения во времени этих, величин будет свидетельствовать о правильности установленного времени добегания.

Для наглядности порядок суммирования соответственных расходов воды поясним на примере рисунка 4.5.

Допустим, что время пробега воды между постами A и B равно $\tau_{A-B} = 5$ суткам, на участке $C-B$, $\tau_{C-B} = 4$ суткам, а на участке $D-B$ $\tau_{D-B} = 6$ суткам. Тогда для расхода воды в нижнем створе Q_B , скажем за 20.VI, соответственными будут на посту A расходы воды за 15.VI, на посту C за 16.VI и на посту D за 14.VI. Суммируя расходы воды в верхних створах со сдвижкой на время добегания, легко построить суммарный график, который и сопоставляется с фактическими расходами в нижнем створе участка.

4.2.2.3 Определение времени добегания путем подбора по гидрографам

Этот прием целесообразно применять на участках, где впадает один крупный приток. Суть его сводится к следующему. Сначала каким-либо наиболее простым способом, например, по средним скоростям течения, приблизительно устанавливают время пробега воды на обоих участках $A-B$ и $C-B$. После этого путем подбора, т. е. посредством нескольких проб, производят его уточнения, добиваясь наилучшего совпадения суммы расходов верхних постов с расходами нижнего поста. Поясним на примере рисунка 4.5.

Допустим, что приближенно установленное время добегания воды на участке $A-B$ равно $\tau_{A-B} = 4$ суткам и на участке $C-B$, $\tau_{C-B} = 6$ суткам. Для уточнения времени добегания по данным о ежедневных расходах воды вычисляется ряд суммарных гидрографов при различных значениях τ_{A-B} и τ_{C-B} .

Сначала берется, например, $\tau_{A-B} = 3$ суткам и вычисляются три серии суммарных гидрографов при времени добегания на участке $C-B$, равном 5, 6 и 7 суткам. После этого аналогичные расчеты повторяются для случаев, когда $\tau_{A-B} = 4$ суткам и $\tau_{A-B} = 5$ суткам. Сопоставляя каждый из вычисленных суммарных гидрографов с соответствующими гидрографами нижнего створа B , устанавливают, при каких значениях времени добегания получается, наилучшая их сходимость (рис. 4.5).

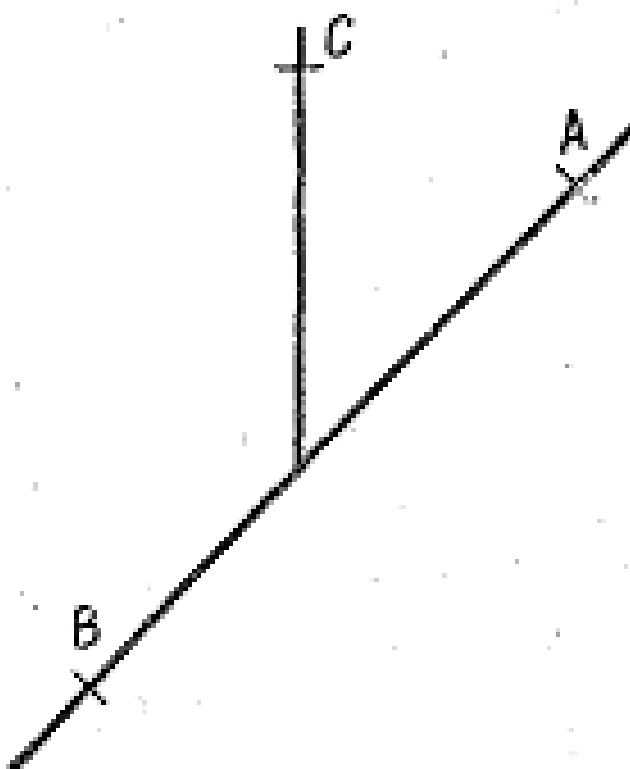


Рис. 4.5 Схема участка реки с одним крупным притоком

4.2.2.4 Практические приемы построения графиков связи соответственных уровней для трех водомерных постов

К построению таких графиков в практике краткосрочных гидрологических прогнозов приходится прибегать довольно часто, когда на участке реки впадает один крупный приток, на котором имеется водомерный пост (рис. 4.4).

После того, как определено время добегания воды от верхних постов на главной реке и ее притоке, работа по построению графика связи соответственных

уровней распадается на два этапа. Первый этап заключается в составлении ведомости соответственных уровней, а второй – в непосредственном построении графика по данным этой ведомости.

Если время добегания воды на участке при различных ее уровнях или расходах меняется незначительно и может быть принято постоянным, то ведомость соответственных уровней составляется одна. В тех же случаях, когда это время различно, на подъеме и спаде, а также при высоких и низких уровнях во избежание ошибок и путаницы целесообразно составлять отдельные ведомости для фазы подъема и фазы спада.

Сведения об уровнях должны использоваться за наиболее поздний период наблюдений, но при этом они должны охватывать весь диапазон изменения уровня воды на нижнем посту. Число членов ряда соответственных уровней должно быть не менее 100. При построении графиков только для максимумов половодья или дождевых паводков используются все имеющиеся данные за все годы наблюдений.

Если во входных створах имеются данные о расходе воды, то число створов можно не ограничивать. При одинаковом времени добегания от всех верхних постов устанавливают связь расходов или уровней воды в замыкающем створе с суммой расходов воды во входных створах, отстоящих на время добегания:

$$Q_{H,t+\tau} = f(\sum_{i=1}^n Q_{B,t}),$$
$$H_{H,t+\tau} = f(\sum_{i=1}^n H_{B,t}).$$

где n — число входных створов.

Построение графика соответственных уровней может выполняться в двух вариантах.

Один из них заключается в том, что на осях координат откладываются исходные уровни верхних постов, а над точками надписываются соответствующие значения уровня на нижнем посту. В соответствии со значениями этих уровней на поле графика проводятся изолинии (рис. 4.6).

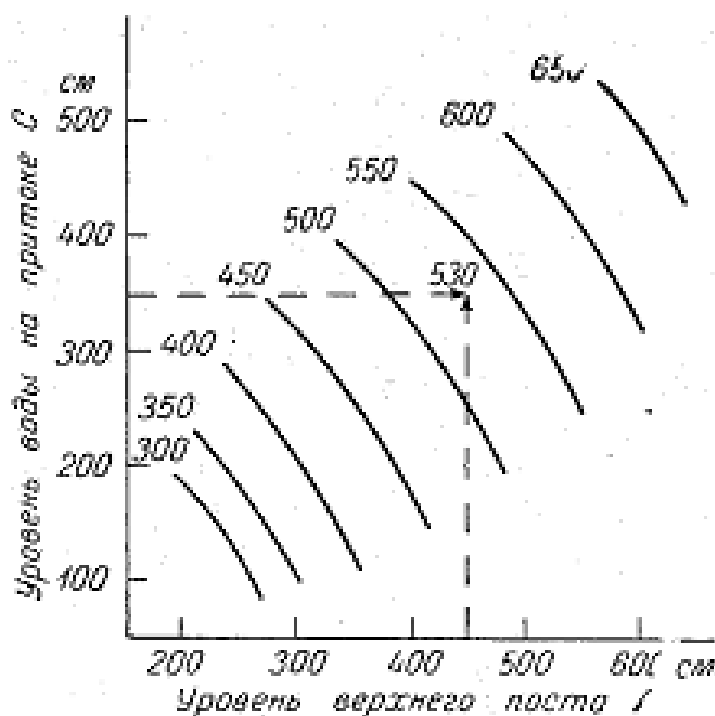


Рис. 4.6 График связи соответственных уровней трех постов
(у изолинии уровень нижнего поста)

Таким образом, при пользовании этим графиком искомая высота уровня воды на нижнем посту определяется путем интерполяции между изолиниями в зависимости от значения соответственных уровней на верхних постах.

Второй вариант построения графика отличается от первого тем, что на оси абсцисс откладываются уровни верхнего поста на главной реке, а по оси ординат — интересующие нас уровни нижнего поста. Над каждой полученной при таком нанесении точкой надписывается соответственный уровень второго верхнего поста. В соответствии со значениями этой третьей переменной проводятся кривые, каждая из которых отвечает определенной высоте уровня воды в створе верхового поста, расположенного на притоке. Таким образом, при пользовании этим графиком искомая высота уровня воды на нижнем посту снимается с оси ординат.

На рисунке 4.7 представлена зависимость для тех же постов, что и на рисунке 4.6, но уже перестроенная так, как описано выше. Преимущество такого

построения заключается в том, что оно дает возможность более надежно проводить кривые, отвечающие постоянным значениям уровня воды на притоке.

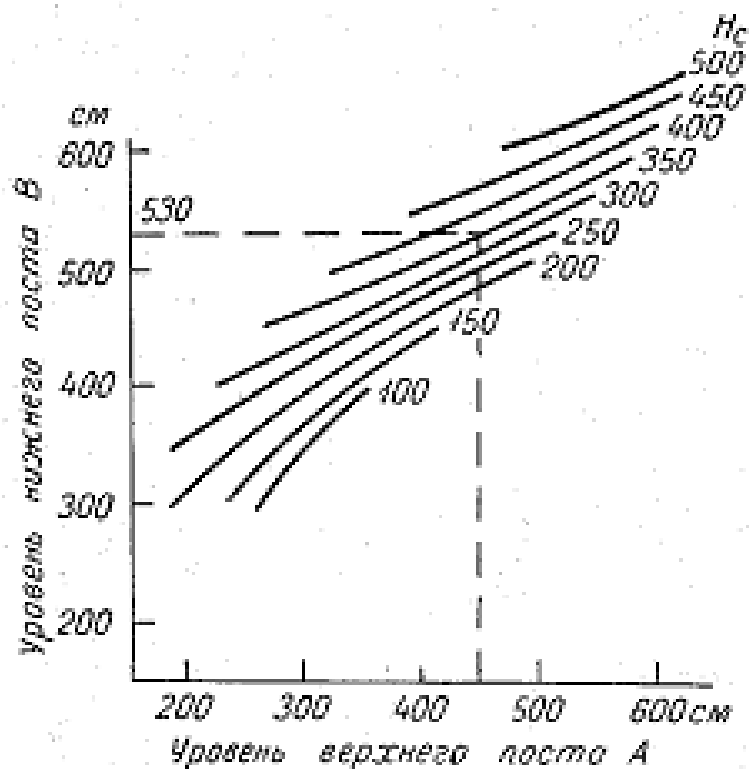


Рис. 4.7 График связи соответственных уровней трех постов
(у изолинии уровень нижнего поста)

4.2.2.5 Прогнозы уровня по соответственным расходам в верхних створах

Главное преимущество использования расходов воды заключается в том, что эти величины являются абсолютными, т. е. измеряя их на различных реках, мы получаем непосредственно количество протекающей воды. В отличие от расходов, уровни воды, измеряемые на тех же постах, являются величинами относительными, так как исчисляются они над условно принимаемыми отметками нуля графика поста.

Особенно большое преимущество использования сведений о соответственных расходах получаем при разработке методики прогнозов для таких участков рек, на которых впадает несколько притоков. Это позволяет не

только увеличивать заблаговременность прогнозов, но и значительно проще решать эту задачу.

Ожидаемый расход реки на определенный момент времени в нижнем створе приточного участка может быть определен из простого балансового уравнения:

$$Q_t = a(Q_A + Q_B + Q_C + \dots + Q_N) \quad (4.28)$$

где $Q_A, Q_B, \dots, Q_N$ – соответственные расходы воды в вышележащих створах реки и ее притоков, наблюдавшиеся раньше момента времени t на соответствующее время добегания τ_A, τ_B и т. д.; a – коэффициент, учитывающий дополнительный боковой приток и регулирующее действие русел.

Поскольку уровень воды в данном створе реки зависит от ее расхода, то, следовательно, ожидаемая его высота в этом створе является также функцией суммы соответственных расходов, т.е.:

$$H_t = f(\sum Q) \quad (4.29)$$

Отсюда видно, насколько упрощается решение задачи о прогнозе уровня на приточном участке реки при использовании данных о расходах воды в верхних створах.

Действительно, сумма соответственных расходов представляет собой одну переменную величину, следовательно, если мы будем оперировать ею, то нам достаточно построить график связи лишь между двумя переменными.

Использование в качестве исходной величины суммы соответственных расходов дает возможность ввести третью переменную величину для учета, например, дополнительного бокового притока или регулирующего действия русловой емкости на участке реки.

Метод соответственных расходов применим как для прогноза максимальных уровней и расходов половодья, так и для прогноза уровней или расходов на заданное число дней вперед, равное времени добегания воды от

верхних постов до рассматриваемого нижнего поста. В первом случае для построения расчетного графика в качестве аргумента берется максимум суммы расходов верхних створов:

$$Q_{\text{макс}} = f(\Sigma Q)_{\text{макс}}, \quad (4.30)$$

а время наступления максимума половодья в нижнем створе определяется по разности между временем наступления максимума суммы расходов и временем наступления максимума половодья в нижнем створе. Во втором случае в качестве аргумента берется сумма соответственных расходов верховых створов на любую дату. Пример расчетного графика для прогноза расходов р. Днепра у г. Киева по сумме соответственных расходов показан на рисунке 4.8.

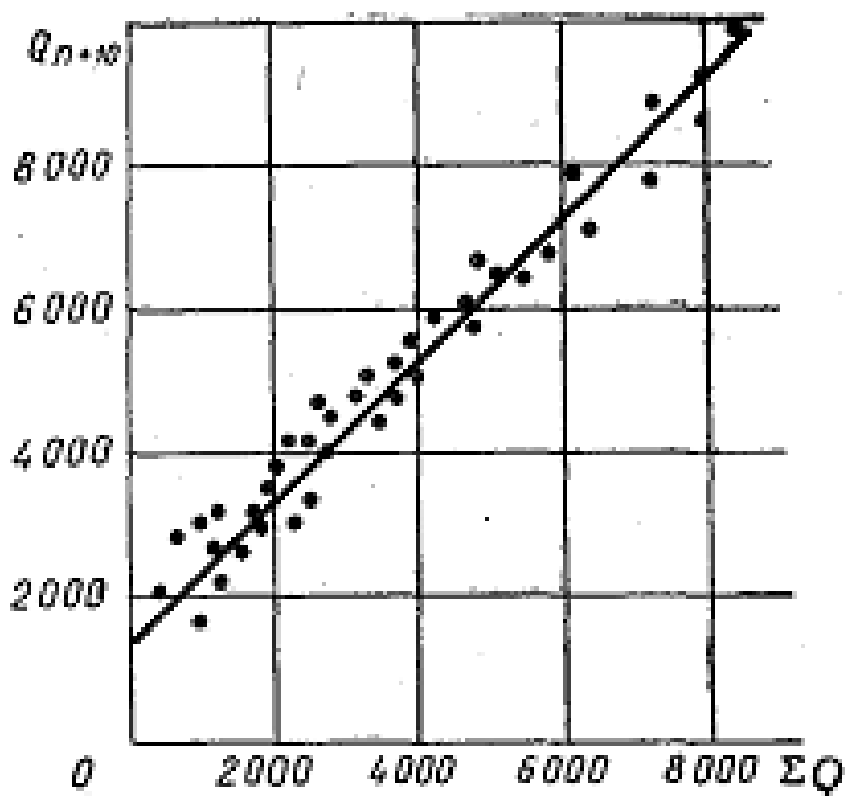


Рис. 4.8 Зависимость расходов р. Днепра у г. Киева от суммы расходов по верховым створам со сдвигом по времени на 10 суток

Верхние посты выбираются таким образом, чтобы время, добегания воды от каждого из них до нижнего створа было по возможности одинаковым.

Для этого пользуются картой изохрон добегания. Однако практически это не всегда возможно сделать, особенно в тех бассейнах, где гидрометрическая сеть редка. В таких случаях соответственные расходы могут находиться или путем учета времени добегания от каждого верхнего поста, или путем интерполяции расходов по тем рекам, на которых гидрометрические створы расположены выше и ниже изохроны, отвечающей принятой заблаговременности прогноза.

Для интерполяции лучше всего пользоваться графиками нарастания площади водосбора между гидрометрическими створами, вычисляя искомый расход по формуле:

$$Q_i = Q_2 - \frac{f_1}{f}(Q_2 - Q_1) \quad (4.31)$$

где Q_i – расход реки на заданной изохроне; Q_1 – расход на посту выше заданной изохроны; Q_2 – расход на посту ниже заданной изохроны; f_1 – приращение площади водосбора от точки пересечения реки изохроной до поста, расположенного ниже изохроны; f – приращение площади водосбора между верхним и нижним постами.

Теснота связи расхода или уровня на нижнем посту с суммой соответственных расходов на верхних постах:

$$H_{n+\tau} = f(\sum Q) \quad (4.32)$$

зависит в значительной мере от изменчивости промежуточного притока. В некоторых случаях существенное повышение точности прогнозов достигается путем учета в качестве второй независимой переменной уровня воды на нижнем посту в день выпуска прогноза H_n :

$$H_{n+\tau} = f(\sum Q, H_n). \quad (4.33)$$

4.2.2.6 Применение множественной корреляции для прогноза расходов и уровней воды

В практической работе еще нередко приходится встречаться с необходимостью прогнозов уровня воды на таких приточных участках рек, где нет данных о расходах. Это обстоятельство вынуждает использовать данные наблюдений за уровнями, что сильно осложняет решение задачи. Простейшее решение в этом случае может быть в случае применения множественной корреляции между уровнем воды на интересующем нас посту и уровнями на ряде верхних постов речной системы.

Методы множественной корреляции могут быть использованы и при отыскании связи уровня на нижнем посту с расходами воды на верхних постах речной системы. Этот прием, в частности, может применяться для прогноза минимальных уровней на крупных судоходных реках с заблаговременностью большей, чем время добегания. Разработка методики таких прогнозов заключается в нахождении методами множественной корреляции уравнений вида:

$$H_{\text{мин}} = a_1 Q_1 + a_2 Q_2 + \dots + a_n Q_n + b H_t \quad (4.34)$$

где $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ – расходы в верхних створах главной реки и ее притоков на дату выпуска прогноза; H_t – уровень воды в пункте, для которого дается прогноз минимального уровня на эту же дату; $H_{\text{мин}}$ – минимальный уровень на последующие 10 или 15 дней; $a_1, a_2, \dots, a_n$ и b – численные коэффициенты, которые находятся методами множественной корреляции.

В целях повышения точности прогноза расчетные уравнения приведенного выше типа находятся для нескольких характерных фаз режима, например, для случаев, когда в верхнем течении главной реки и на ее притоках идет только спад уровней или только подъем, и некоторых других ситуаций, которые объективно могут быть определены по данным текущих наблюдений.

4.2.2.7 Прогноз стока по данным о запасах воды в руслах

С постройкой гидроэлектростанций и водохранилищ все больше возникает необходимость в прогнозах притока воды к ним за различные периоды времени, который чаще всего выражается в виде среднего расхода.

Прогнозы средних расходов за относительно короткие периоды времени основываются на использовании зависимости между стоком и запасом воды в русловой сети:

$$Q_T = f(W_t), \quad (4.35)$$

где W_t – запас воды в той части русловой сети бассейна, с которой вода проходит замыкающий створ в течение заданного отрезка времени T .

Например, при отсутствии дополнительного притока талой или дождевой воды средний декадный расход в заданном створе реки целиком определяется объемом воды, находящейся в руслах той части бассейна, время добегания воды с которой составляет 10 суток. Зависимости стока от запасов воды в руслах нашли широкое применение в практике прогнозов средних декадных и средних месячных расходов крупных рек, а в периоды устойчивой межени и на более длительное время вперед.

Метод соответственных объемов для прогноза средних расходов воды за определенный период на сравнительно крупных реках был предложен Г.П.Калининым в 1947 г. Способ заключается в прогнозе стока по зависимости:

$$Q_T + t = f(W_s) \cdot t, \quad (4.36)$$

которая основана на установлении связи между объемом воды в русловой сети в день выпуска прогноза T и объемом последующего стока в замыкающем створе бассейна. Построение этой зависимости производится по данным гидрометрических наблюдений в бассейне реки за прошлый период времени.

Заблаговременность прогноза среднего расхода соответствует времени руслового добегания с части речного бассейна, ограниченной изохронной τ_{cp} .

Метод соответственных объемов позволяет прогнозировать средние декадные и даже средние месячные расходы на средних и больших реках, время руслового добегания на которых не менее 10 суток.

Русловая сеть рассматриваемого бассейна подразделяется на несколько участков, отделенных друг от друга водомерными постами со временем руслового добегания 2-5 суток.

После подразделения на участки определяется объем воды в русловой сети каждого участка. Объем воды во всей русловой сети равен сумме объемов воды на отдельных участках. Вычисление объема воды в русловой сети может осуществляться разными способами, к основным из них относятся следующие.

Гидрометрический способ – вычисление объема воды осуществляется по данным о среднем расходе воды и времени руслового добегания на участке. Порядок расчета следующий. Вычисление объема воды осуществляется по данным о среднем расходе воды и времени руслового добегания на участке. На бесприточном участке объем воды определяется по формуле:

$$W_t = \frac{Q_{gt} + Q_{nt}}{2} \cdot \tau \quad (4.37)$$

на приточном участке:

$$W_t = \frac{Q_{gt} + Q_{nt}}{2} \cdot \tau_{cp} \quad (4.38)$$

где Q_{gt} – сумма расходов воды в верхних створах участка; τ_{cp} – среднее время руслового добегания на участке, определяемое как среднее арифметическое из величин времени добегания от верхнего створа до нижнего:

$$\tau_{cp} = \frac{\sum \tau}{m} \quad (4.39)$$

где m - число верхних створов, или как средневзвешенное значение по формуле:

$$\tau_{cp} = \frac{\sum \tau_k \cdot Q_k}{\sum Q_k}, \quad (4.40)$$

где τ_{cp} – русловое время добегания от k -го верхнего створа участка до нижнего створа; Q_k – среднегодовое расхождение в верхнем k -ом створе участка. Если участок ограничен одним створом, то объем воды определяется по выражению:

$$W_t = \frac{Q_{\text{нп}}}{2} \cdot \tau. \quad (4.41)$$

При выражении расхода воды в $\text{м}^3/\text{с}$, времени добегания в сутках, а объема воды в м^3 формула имеет вид:

$$W_t = 86000 \cdot Q_t \cdot \tau_{cp}. \quad (4.42)$$

Очень часто в условиях недостаточно густой сети стоковых постов реализация описанного выше способа бывает затруднена из-за невозможности подсчета запасов воды в русловой сети о расходах воды.

В этом случае можно осуществить оценку русловых запасов используя данные наблюдений за уровнями воды. Рассчитанные таким образом объемы воды называются условными.

В пределах каждого участка условный объем определяется как:

$$W_t = H_t \cdot \tau_{cp}, \quad (4.43)$$

где H_t – средневзвешенный уровень воды на участке, вычисленный с учетом водности притоков по равенству:

$$H_t = P_n \cdot H_{\text{нт}} + \sum P_{\text{вж}} \cdot H_{\text{вж},t}, \quad (4.44)$$

где $H_{нт}$ – среднесуточный уровень воды в нижнем створе участка на дату t ; $UP_{Bj} \cdot H_{Bj,t}$ – сумма произведений коэффициентов водности притоков UP_{Bj} на среднесуточный уровень в створе на этом притоке $H_{Bj,t}$ на дату t .

Коэффициенты водности вычисляются как отношение площадей водосборов до соответствующих створов F_{Bj} к площади водосбора расчетного (прогнозного) створа $F_{пр}$, т.е.:

$$P_{Bj} = \frac{F_{Bj}}{F_{пр}}. \quad (4.45)$$

Морфометрический способ – объем воды на участке реки может быть установлен по средней площади живого сечения потока на участке. Площади водного сечения устанавливаются для конкретных уровней. Наличие крупномасштабных карт или аэрофотоснимков рек при различных уровнях воды позволяет определить объем воды по площадям водной поверхности.

Порядок расчета следующий. Объем воды на участке реки может быть установлен по формуле:

$$W = F \cdot L, \quad (4.46)$$

где F – средняя площадь живого сечения потока на участке, определяемая по площади живого сечения в верхнем и нижнем створах; L – длина участка.

Площади водного сечения устанавливаются для конкретных уровней воды по зависимостям $F = f(h)$.

Наличие крупномасштабных карт или аэрофотоснимков рек при различных уровнях воды позволяет определить объем воды по площадям водной поверхности. Обозначим площади водной поверхности на участке, ограниченном двумя створами, через F и установим зависимость этой площади от уровней воды в верхнем и нижнем створах ($h_в$, $h_н$):

$$\Omega = f \cdot \frac{H_B + H_n}{2} \quad (4.47)$$

Объем воды на участке над начальным уровнем H_0 равен:

$$W_n = F \cdot dh \quad (4.48)$$

На каждом участке строится кривая объемов $W = f(h)$, что дает возможность вычислить суммарный объем воды во всей русловой сети бассейна для любого момента времени. Применение этого способа затруднено отсутствием подобных морфометрических данных.

Водобалансовый способ – для определения объема воды в русловой сети используется уравнение водного баланса. Суммируя изменение объемов воды за некоторый период времени, получим объем русловых запасов (W) над некоторым начальным объемом. По величинам объема и среднего расхода воды на участке строят кривые объемов за ряд характерных лет, совмещая их на одном графике и проводя огибающую по наиболее наклонным участкам кривой к оси расходов.

Порядок расчета следующий. Для определения объема воды в русловой сети используется уравнение водного баланса бесприточного или приточного участка реки:

$$\Delta W = (Q_B \cdot \Delta t + Q_{пр} \cdot \Delta t) - Q_n \cdot \Delta t, \quad (4.49)$$

где ΔW – приращение объема воды на участке за время Δt ; Q_B , $Q_{пр}$, Q_n – соответственно расходы воды в верхнем, нижнем створах и на притоке.

Суммируя изменения объемов воды за некоторый период времени, получим объем русловых запасов (W) над некоторым начальным объемом. По величинам объема и среднего расхода воды на участке строят кривые объемов $W = f(Q_{ср})$ за ряд характерных лет, совмещая их на одном графике и проводя огибающую по наиболее наклонным участкам кривой к оси расходов. Эта кривая отвечает условиям отсутствия притока воды от осадков.

Рассмотренные способы дают возможность определить объем воды только в той части русловой сети бассейна, которая освещена пунктами гидрометрических наблюдений. Объем воды в мелкой русловой сети не учитывается.

После определения объемов воды W_i для отдельных участков находится суммарный объем воды W_s во всей русловой сети водосбора (объем воды во всей русловой сети равен сумме объемов воды на отдельных участках) и строится графическая зависимость:

$$Q_T + t = f(W_s) \cdot t. \quad (4.50)$$

Метод соответственных объемов применим в основном в летне-осенний и зимний сезоны в условиях незначительного притока воды в период прогноза. В период весеннего половодья и крупных дождевых паводков значительная приточность в течении периода, на который дается прогноз, не позволяет установить зависимость:

$$Q_T + t = f(W_s) \cdot t. \quad (4.51)$$

Косвенно учесть приточность можно путем построения зависимости отдельно для периода подъема и спада половодья.

Для прогноза максимума половодья рекомендуется использовать зависимость вида:

$$Q_{\max} \cdot t + \tau = f(W_t). \quad (4.52)$$

Дата выпуска прогноза (и дата определения объема воды в русловой сети) приурочивается к моменту наступления максимума половодья на одной из малых рек, где пик половодья из года в год наступает в более ранние сроки, а волна половодья одномодальна. Возможно, даже за дату выпуска прогноза принимать среднюю дату пика половодья несколько больших рек, на которых максимум наступает всегда раньше, чем на большой реке. Заблаговременность прогноза

равна средней продолжительности сдвига между максимумом малой и большой реки.

Для определения полных русловых запасов воды Р.А. Нежиховский выделяет крупную и отдельно среднюю и мелкую русловую сеть бассейна. Объем воды в крупной русловой сети подсчитывается на участках реки, ограниченных створами, равноудаленными от истоков на определенное расстояние. В качестве верхних граничных створов в бассейнах с площадью $15000 < F < 100000$ км² принимаются створы, удаленные от истоков на 100 км. В больших бассейнах створы удалены от истока на 150 км, а в малых на 50 км. Ниже этих створов русловая сеть бассейна разбивается на бесприточные и приточные участки.

На бесприточном участке средний расход воды при наличии створов на концах участка определяется по выражению:

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{в}} + k \cdot Q_{\text{н}}, \quad (4.53)$$

а при наличии одного створа в пределах участка по формуле:

$$Q_{\text{ср}} = k \cdot Q_{\text{н}}, \quad (4.54)$$

где k отношение площади водосбора в середине участка к площади водосбора в створе наблюдений. Средний расход воды для приточного участка определяется как средний взвешенный в зависимости от типа боковой приточности, т.е. рассредоточенного или сосредоточенного.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ СРЕДНЕГОДОВОГО МОДУЛЯ СТОКА РЕКИ С КОРОТКИМ РЯДОМ НАБЛЮДЕНИЙ

Период, наблюдений считается недостаточным, если:

– при определении среднего многолетнего стока относительная средняя квадратическая ошибка величины среднего годового стока за период этих наблюдений не более 10 %:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

– относительная средняя квадратическая ошибка коэффициента изменчивости ее более 10 – 15 %:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_v^2)}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

Среднеарифметическое отклонение характеризует степень изменчивости ряда, имеет ту же размерность, что и расход и находится по формуле:

$$\sigma_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 / (n - 1)} \quad (5.3)$$

Река-аналог выбирается по:

- схождению климатических характеристик;
- синхронности колебаний стока во времени;
- однородности рельефа, почвогрунтов, гидрогеологических условий, близкой степени покрытости водосбора лесами и болотами;
- соотношению площадей водосборов, которые не должны отличаться более чем в 10 раз;
- отсутствию факторов, искажающих сток (строительство плотин, изъятие и сброс воды).

Река-аналог должна иметь многолетний период гидрометрических наблюдений для точного определения нормы стока и не менее 6 лет параллельных наблюдений с изучаемой рекой.

В гидрологическом расчете в данном случае воспользуемся данными реки-аналога. Обозначим индексом «1, или В» расчетные величины опорной реки, индексом «2, или Н» реки-аналога. Определим норму модуля стока M_{1n} опорной реки с использованием значения M_{2n} реки-аналога; по величине M_{2n} по формулам связи другие параметры стока.

5.1. Прогнозы стока по русловым запасам воды. Построение зависимости русловых запасов от расхода воды на основе уравнения водного баланса

Прогнозы стока за интервал времени Δt превышающий продолжительность имеющегося в бассейне и в русловой сети, составляется на основе балансового уравнения:

$$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t - W_c + W_{\sigma} + P_L^N + W_p + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_n \Delta t + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_o \Delta t \quad (5.4)$$

где $Q \Delta t$ – сток за время t ; t_0 – дата начала выпуска прогноза; W_c, W_{σ}, W_p – запасы воды в снежном покрове, на поверхности бассейна, в русловой сети; P_L^N – потери талого стока; $Q_n \Delta t$ – приток подземных вод; $Q_o \Delta t$ – приток от осадков в период прогноза.

Следует иметь в виду, что в зависимости от характера питания реки, периода года, а также расчетного интервала времени, составляющие балансового уравнения меняются.

Наиболее часто уравнение водного баланса значительно упрощается и приводится к виду:

$$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t + W_p + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_n \Delta t + \sum_{t_0}^{t_0+t} Q_o \Delta t \quad (5.5)$$

Если период расчёта составляет такой период, в который сток бассейна реки отсутствует, то решение уравнения сводится к построению кривой зависимости:

$$\sum_{t_0}^{t_0+t} Q \Delta t = f(W) \quad (5.6)$$

Из данной зависимости можно сделать вывод, что прогнозы стока определяются русловыми запасами воды.

Запас воды в русловой сети складывается из запасов воды в пределах всех расчётных участков:

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (5.7)$$

где N — количество выделенных расчётных участков (участки обычно выделяются в пределах существующих стационарных постах); W_i — запас воды на расчётном участке.

Запас воды в пределах расчётного участка можно рассчитать, если имеются морфометрические или гидрометеорологические данные.

Если имеются морфометрические данные, то запас воды в пределах расчётного участка рассчитывается по формуле:

$$W_i = \frac{\omega_B + \omega_H}{2} \cdot \omega_{B-H} \quad (5.8)$$

Если имеются гидрометеорологические данные, то русловые запасы определяются из графической зависимости $W = f(H)$

Также запасы воды в русловой сети можно рассчитать, если имеются расходы в рассматриваемых створах:

$$W_i = [Q_B - (Q_H + Q_{np})] \Delta t \quad (5.9)$$

Если построить графическую зависимость $W = f(Q_{cp})$, то по ней можно определить русловой запас воды за расчётный период времени:

$$Q_{cp} = \frac{Q_B + Q_H + Q_{np}}{2} \quad (5.10)$$

Если известно время добегания, то русловые запасы могут быть посчитаны по формуле:

$$W_i = \tau \times Q_{cp} \quad (5.11)$$

Задание: Определить русловые запасы воды р. Чикой на участке Гремячка - Поворот. Приток – р. Менза – с. Укыр. Построить график зависимости русловых запасов от расходов воды на основе уравнения водного баланса.

Исходные данные: Из ежегодников выбраны ежедневные расходы воды за июнь месяц по гидропостам р. Чикой – с. Гремячка; р. Чикой – с. Поворот; р. Менза – с. Укыр (таблицы 5.1-5.3). Период наблюдений 10 лет (2008-2017 гг.).

Таблица 5.1

Ежедневные расходы воды за июнь по гидропосту
р. Чикой – с. Гремячка (верхний створ)

Июнь	Год									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	67,4	73,6	729	88,1	247	130	71	112	104	57
2	90,3	80,6	338	88,1	220	125	69,3	176	102	55,5
3	122	88	247	88,1	207	125	67,5	246	102	57
4	133	91,9	201	89,5	204	125	67,5	193	102	61,6
5	122	88	180	88,1	202	116	66	151	104	60,1
6	105	82,4	163	86,7	207	111	66	143	106	64,9
7	92,5	78,8	153	85,3	233	105	64,5	176	104	68,2
8	83,6	77	163	83,9	257	119	61,6	221	99,4	75,3
9	79,3	90	180	83,9	265	133	66	242	95	82,8
10	75,2	99,9	182	82,5	233	161	72,8	238	90,8	79

Июнь	Год									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
11	73,1	102	188	81,1	210	195	72,8	238	90,8	73,5
12	71	95,8	208	79,7	199	230	74,5	235	88,8	68,2
13	71	88	208	78,4	188	205	72,8	238	88,8	63,2
14	71	82,4	205	78,4	182	179	71	250	88,8	60,1
15	73,1	77	191	78,4	182	170	69,3	224	95	57
16	69,2	75,2	168	79,7	182	170	69,3	189	97,2	54,1
17	67,4	73,6	155	79,7	175	182	74,5	163	97,2	52,6
18	65,7	71,9	143	79,7	169	173	86,1	151	92,9	51,2
19	63,9	75,2	136	79,7	164	158	112	140	88,8	48,4
20	63,9	84,2	130	81,1	164	147	112	127	84,8	48,4
21	65,7	106	124	81,1	167	139	132	119	80,9	51,2
22	65,7	122	118	78,4	178	133	154	112	79	51,2
23	69,2	140	113	78,4	182	127	154	104	79	49,8
24	92,5	175	109	74,4	185	125	151	99,3	77,1	49,8
25	167	239	104	71,9	188	141	154	96,9	75,3	48,4
26	234	271	98,1	70,7	188	164	160	92,6	73,5	47,1
27	277	242	95,2	68,2	196	195	170	88,3	73,5	45,7
28	230	246	95,2	68,2	210	281	166	84,1	73,5	44,9
29	195	306	93,8	68,2	213	381	154	82,2	71,7	44,1
30	167	391	95,2	69,4	204	363	134	86,1	69,9	43,2
Максимум	277	391	729	89,5	265	381	170	250	106	82,8
Минимум	63,9	71,9	93,8	68,2	164	105	61,6	82,2	69,9	43,2

Таблица 5.2

Ежедневные расходы воды за июнь по гидропосту
р. Чикой – с. Поворот (нижний створ)

Июнь	Год									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ersh	124	661	226	546	402	299	178	220	142
2	206	128	838	229	517	398	278	178	211	135
3	201	142	945	237	488	398	259	189	203	130
4	198	157	805	243	464	398	253	199	201	128
5	195	160	545	246	408	376	246	282	198	123
6	195	157	459	240	368	372	240	295	193	123
7	198	154	410	237	356	372	229	265	188	126
8	201	149	392	235	345	372	226	246	185	130
9	201	149	378	229	337	368	221	292	195	135
10	195	144	430	226	360	364	208	317	201	142
11	190	151	454	223	399	360	196	343	195	142
12	187	157	488	221	399	355	199	355	195	144
13	176	160	509	218	372	380	199	367	209	144

Июнь	Год									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
14	173	157	587	215	356	406	199	379	250	139
15	171	151	571	215	349	402	199	395	260	128
16	171	146	503	210	349	376	196	399	247	123
17	171	144	469	210	341	351	194	383	229	121
18	168	133	444	207	333	347	196	359	223	117
19	165	133	410	207	326	339	199	328	217	111
20	165	133	374	205	322	335	205	299	211	111
21	160	135	340	199	319	328	234	278	209	107
22	160	142	313	197	319	324	249	252	195	103
23	162	173	291	194	308	321	265	243	190	103
24	198	205	280	194	304	306	292	225	185	105
25	291	212	280	192	319	282	302	208	183	105
26	415	239	269	189	329	275	313	199	180	103
27	550	298	261	184	364	302	328	186	180	103
28	683	365	236	179	431	351	343	178	180	103
29	672	459	219	187	483	393	360	173	180	103
30	587	759	215	179	502	456	368	166	175	95
Максимум	683	759	945	246	546	456	368	399	260	144
Минимум	160	124	215	179	304	275	194	166	175	95

Таблица 5.3

Ежедневные расходы воды за июнь по гидропосту
р. Менза – с. Укыр (приток)

Июнь	Год									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	24,6	21,4	28,7	19,6	47,8	21,1	14,3	48	27,7	11,5
2	24,6	15	26,2	18,2	47,8	20,4	13,7	26,9	28,5	17,5
3	19,9	13,1	25,4	16,9	50,7	18,9	11,9	21	29,3	18,9
4	19,2	12,5	23,7	17,5	55,6	17,5	11,9	21	28,5	14,9
5	19,2	12	20,7	17,5	57,6	16,9	11,4	27,7	26,2	15,6
6	17,7	12	18,5	17,5	66,9	17,5	11,4	54,6	24,7	16,2
7	16,3	15,7	23,7	17,5	56,6	17,5	10,8	42,6	22,5	16,2
8	15,7	19,2	40,2	16,2	48,8	19,6	18,2	40,8	21,7	15,6
9	15,7	15	43,9	14,9	29	38,5	21,8	38,2	21	13,7
10	15	13,7	40,2	14,3	32,4	52,6	16,2	40,8	21	12,6
11	14,4	12	63,8	13,7	35	32,4	15,6	46,2	21	11,5
12	15	11,4	57,5	13,1	32,4	25,8	13,7	48	20,3	11
13	17	10,8	40,2	13,1	35,9	21,8	13,1	33,2	19,6	11
14	16,3	11,4	31,2	13,1	29,8	26,6	11,9	28,5	19,6	10,5
15	15	11,4	27	12,5	28,2	25,8	13,1	26,2	21	10,5
16	13,7	11,4	24,5	13,1	27,4	25	22,6	24,7	21,7	10,5

Июнь	Год									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
17	15,7	11,4	22,2	13,7	25,8	24,2	17,5	21,7	21	10,5
18	15,7	10,8	20,7	13,7	25,8	23,4	16,2	20,3	20,3	10,5
19	13,7	14,4	18,5	13,1	26,6	22,6	17,5	19,6	18,2	10,5
20	12,5	42,3	17,8	12,5	29	21,1	23,4	18,2	18,2	10
21	12	30,5	17,8	11,9	27,4	22,6	18,9	18,2	17,5	10
22	14,4	29,6	17	11,9	34,1	23,4	18,2	18,9	17,5	9,5
23	29,6	42,3	15,6	11,4	35	22,6	19,6	18,9	16,8	9,5
24	90,6	36,7	15	10,8	28,2	25,8	20,4	18,2	16,2	9,5
25	51	30,5	15	10,3	25,8	29	24,2	16,8	15,6	9,5
26	38,5	27,9	17,8	9,77	32,4	34,1	25	15,6	15,6	9,5
27	33,1	32,2	15,6	9,77	35	34,1	19,6	15,6	15,6	9,01
28	29,6	105	14,4	11,4	37,6	27,4	17,5	15,6	15,6	9,01
29	25,4	117	14,4	11,9	31,5	25	17,5	15,6	16,2	8,5
30	23,8	83,2	32,1	11,4	28,2	23,4	21,8	15,6	16,2	8,05
Максимум	90,6	117	63,8	19,6	66,9	52,6	25	54,6	29,3	18,9
Минимум	12	10,8	14,4	9,77	25,8	16,9	10,8	15,6	15,6	8,05

Прогнозы стока за интервал времени Δt , превышающий продолжительность отека основного запаса воды, имеющегося в бассейне и в русловой сети, составляются на основе приближенного решения балансового уравнения основными компонентами которого являются следующие: величины запаса воды в снежном покрове, на поверхности бассейна и в русловой сети в момент времени t_0 , сток подземных вод за интервал времени от t_0 до $(\Delta t + \Delta t)$; сток, вызванный осадками, выпавшими в интервале времени от t_0 до $(\Delta t + \Delta t)$; величина потерь стока за время половодья.

Результаты расчётов по вышеприведенным зависимостям приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4

Определение русловых запасов воды

Дата		Q_n	Q_v	Q_{np}	$\Delta W/86400$		Σ	Q_{cp}
2008	23.июн	162	69,2	29,6	63,2		1804,7	130,4
	24.июн	198	92,5	90,6	14,9		1741,5	190,55
	25.июн	291	167	51	73		1726,6	254,5
	26.июн	415	234	38,5	142,5		1653,6	343,75
	27.июн	550	277	33,1	239,9		1511,1	430,05
	28.июн	683	230	29,6	423,4		1271,2	471,3

Дата		Q_n	Q_v	Q_{np}	$\Delta W/86400$		Σ	Q_{cp}
	29.июн	672	195	25,4	451,6		847,8	446,2
	30.июн	587	167	23,8	396,2		396,2	388,9
2009	18.июн	133	71,9	10,8	50,3		314,3	107,85
	19.июн	133	75,2	14,4	43,4		264	111,3
	20.июн	133	84,2	42,3	6,5		220,6	129,75
	21.июн	135	106	30,5	-1,5		214,1	135,75
	22.июн	142	122	29,6	-9,6		215,6	146,8
	23.июн	173	140	42,3	-9,3		225,2	177,65
	24.июн	205	175	36,7	-6,7		234,5	208,35
	25.июн	212	239	30,5	-57,5		241,2	240,75
	26.июн	239	271	27,9	-59,9		298,7	268,95
	27.июн	298	242	32,2	23,8		358,6	286,1
	28.июн	365	246	105	14		334,8	358
	29.июн	459	306	117	36		320,8	441
	30.июн	759	391	83,2	284,8		284,8	616,6
2010	01.июн	661	729	28,7	-96,7		7273,2	709,35
	02.июн	838	338	26,2	473,8		7369,9	601,1
	03.июн	945	247	25,4	672,6		6896,1	608,7
	04.июн	805	201	23,7	580,3		6223,5	514,85
	05.июн	545	180	20,7	344,3		5643,2	372,85
	06.июн	459	163	18,5	277,5		5298,9	320,25
	07.июн	410	153	23,7	233,3		5021,4	293,35
	08.июн	392	163	40,2	188,8		4788,1	297,6
	09.июн	378	180	43,9	154,1		4599,3	300,95
	10.июн	430	182	40,2	207,8		4445,2	326,1
	11.июн	454	188	63,8	202,2		4237,4	352,9
	12.июн	488	208	57,5	222,5		4035,2	376,75
	13.июн	509	208	40,2	260,8		3812,7	378,6
	14.июн	587	205	31,2	350,8		3551,9	411,6
	15.июн	571	191	27	353		3201,1	394,5
	16.июн	503	168	24,5	310,5		2848,1	347,75
	17.июн	469	155	22,2	291,8		2537,6	323,1
	18.июн	444	143	20,7	280,3		2245,8	303,85
	19.июн	410	136	18,5	255,5		1965,5	282,25
	20.июн	374	130	17,8	226,2		1710	260,9
	21.июн	340	124	17,8	198,2		1483,8	240,9
	22.июн	313	118	17	178		1285,6	224
2010	23.июн	291	113	15,6	162,4		1107,6	209,8
	24.июн	280	109	15	156		945,2	202
	25.июн	280	104	15	161		789,2	199,5
	26.июн	269	98,1	17,8	153,1		628,2	192,45
	27.июн	261	95,2	15,6	150,2		475,1	185,9
	28.июн	236	95,2	14,4	126,4		324,9	172,8
	29.июн	219	93,8	14,4	110,8		198,5	163,6
	30.июн	215	95,2	32,1	87,7		87,7	171,15
2011	01.июн	226	88,1	19,6	118,3		3571,76	166,85
	02.июн	229	88,1	18,2	122,7		3453,46	167,65

Дата		Q_n	Q_v	Q_{np}	$\Delta W/86400$		Σ	Q_{cp}
	03.июн	237	88,1	16,9	132		3330,76	171
	04.июн	243	89,5	17,5	136		3198,76	175
	05.июн	246	88,1	17,5	140,4		3062,76	175,8
	06.июн	240	86,7	17,5	135,8		2922,36	172,1
	07.июн	237	85,3	17,5	134,2		2786,56	169,9
	08.июн	235	83,9	16,2	134,9		2652,36	167,55
	09.июн	229	83,9	14,9	130,2		2517,46	163,9
	10.июн	226	82,5	14,3	129,2		2387,26	161,4
	11.июн	223	81,1	13,7	128,2		2258,06	158,9
	12.июн	221	79,7	13,1	128,2		2129,86	156,9
	13.июн	218	78,4	13,1	126,5		2001,66	154,75
	14.июн	215	78,4	13,1	123,5		1875,16	153,25
	15.июн	215	78,4	12,5	124,1		1751,66	152,95
	16.июн	210	79,7	13,1	117,2		1627,56	151,4
	17.июн	210	79,7	13,7	116,6		1510,36	151,7
	18.июн	207	79,7	13,7	113,6		1393,76	150,2
	19.июн	207	79,7	13,1	114,2		1280,16	149,9
	20.июн	205	81,1	12,5	111,4		1165,96	149,3
	21.июн	199	81,1	11,9	106		1054,56	146
	22.июн	197	78,4	11,9	106,7		948,56	143,65
	23.июн	194	78,4	11,4	104,2		841,86	141,9
	24.июн	194	74,4	10,8	108,8		737,66	139,6
	25.июн	192	71,9	10,3	109,8		628,86	137,1
	26.июн	189	70,7	9,77	108,53		519,06	134,735
	27.июн	184	68,2	9,77	106,03		410,53	130,985
	28.июн	179	68,2	11,4	99,4		304,5	129,3
	29.июн	187	68,2	11,9	106,9		205,1	133,55
	30.июн	179	69,4	11,4	98,2		98,2	129,9
2012	01.июн	546	247	47,8	251,2		3269,2	420,4
	02.июн	517	220	47,8	249,2		3018	392,4
	03.июн	488	207	50,7	230,3		2768,8	372,85
	04.июн	464	204	55,6	204,4		2538,5	361,8
	05.июн	408	202	57,6	148,4		2334,1	333,8
	06.июн	368	207	66,9	94,1		2185,7	320,95
	07.июн	356	233	56,6	66,4		2091,6	322,8
	08.июн	345	257	48,8	39,2		2025,2	325,4
	09.июн	337	265	29	43		1986	315,5
2012	10.июн	360	233	32,4	94,6		1943	312,7
	11.июн	399	210	35	154		1848,4	322
	12.июн	399	199	32,4	167,6		1694,4	315,2
	13.июн	372	188	35,9	148,1		1526,8	297,95
	14.июн	356	182	29,8	144,2		1378,7	283,9
	15.июн	349	182	28,2	138,8		1234,5	279,6
	16.июн	349	182	27,4	139,6		1095,7	279,2
	17.июн	341	175	25,8	140,2		956,1	270,9
	18.июн	333	169	25,8	138,2		815,9	263,9
	19.июн	326	164	26,6	135,4		677,7	258,3

Дата		Q_n	Q_v	Q_{np}	$\Delta W/86400$		Σ	Q_{cp}
	20.июн	322	164	29	129		542,3	257,5
	21.июн	319	167	27,4	124,6		413,3	256,7
	22.июн	319	178	34,1	106,9		288,7	265,55
	23.июн	308	182	35	91		181,8	262,5
	24.июн	304	185	28,2	90,8		90,8	258,6
2013	10.июн	364	161	52,6	150,4		2765,3	288,8
	11.июн	360	195	32,4	132,6		2614,9	293,7
	12.июн	355	230	25,8	99,2		2482,3	305,4
	13.июн	380	205	21,8	153,2		2383,1	303,4
	14.июн	406	179	26,6	200,4		2229,9	305,8
	15.июн	402	170	25,8	206,2		2029,5	298,9
	16.июн	376	170	25	181		1823,3	285,5
	17.июн	351	182	24,2	144,8		1642,3	278,6
	18.июн	347	173	23,4	150,6		1497,5	271,7
	19.июн	339	158	22,6	158,4		1346,9	259,8
	20.июн	335	147	21,1	166,9		1188,5	251,55
	21.июн	328	139	22,6	166,4		1021,6	244,8
	22.июн	324	133	23,4	167,6		855,2	240,2
	23.июн	321	127	22,6	171,4		687,6	235,3
	24.июн	306	125	25,8	155,2		516,2	228,4
	25.июн	282	141	29	112		361	226
	26.июн	275	164	34,1	76,9		249	236,55
	27.июн	302	195	34,1	72,9		172,1	265,55
	28.июн	351	281	27,4	42,6		99,2	329,7
	29.июн	393	381	25	-13		56,6	399,5
	30.июн	456	363	23,4	69,6		69,6	421,2
2014	14.июн	199	71	11,9	116,1		1993,9	140,95
	15.июн	199	69,3	13,1	116,6		1877,8	140,7
	16.июн	196	69,3	22,6	104,1		1761,2	143,95
	17.июн	194	74,5	17,5	102		1657,1	143
	18.июн	196	86,1	16,2	93,7		1555,1	149,15
	19.июн	199	112	17,5	69,5		1461,4	164,25
	20.июн	205	112	23,4	69,6		1391,9	170,2
	21.июн	234	132	18,9	83,1		1322,3	192,45
	22.июн	249	154	18,2	76,8		1239,2	210,6
	23.июн	265	154	19,6	91,4		1162,4	219,3
	24.июн	292	151	20,4	120,6		1071	231,7
2014	25.июн	302	154	24,2	123,8		950,4	240,1
	26.июн	313	160	25	128		826,6	249
	27.июн	328	170	19,6	138,4		698,6	258,8
	28.июн	343	166	17,5	159,5		560,2	263,25
	29.июн	360	154	17,5	188,5		400,7	265,75
	30.июн	368	134	21,8	212,2		212,2	261,9
2015	06.июн	295	143	54,6	97,4		2517,9	246,3
	07.июн	265	176	42,6	46,4		2420,5	241,8
	08.июн	246	221	40,8	-15,8		2374,1	253,9
	09.июн	292	242	38,2	11,8		2389,9	286,1

Дата		Q_n	Q_v	Q_{np}	$\Delta W/86400$		Σ	Q_{cp}
	10.июн	317	238	40,8	38,2		2378,1	297,9
	11.июн	343	238	46,2	58,8		2339,9	313,6
	12.июн	355	235	48	72		2281,1	319
	13.июн	367	238	33,2	95,8		2209,1	319,1
	14.июн	379	250	28,5	100,5		2113,3	328,75
	15.июн	395	224	26,2	144,8		2012,8	322,6
	16.июн	399	189	24,7	185,3		1868	306,35
	17.июн	383	163	21,7	198,3		1682,7	283,85
	18.июн	359	151	20,3	187,7		1484,4	265,15
	19.июн	328	140	19,6	168,4		1296,7	243,8
	20.июн	299	127	18,2	153,8		1128,3	222,1
	21.июн	278	119	18,2	140,8		974,5	207,6
	22.июн	252	112	18,9	121,1		833,7	191,45
	23.июн	243	104	18,9	120,1		712,6	182,95
	24.июн	225	99,3	18,2	107,5		592,5	171,25
	25.июн	208	96,9	16,8	94,3		485	160,85
	26.июн	199	92,6	15,6	90,8		390,7	153,6
	27.июн	186	88,3	15,6	82,1		299,9	144,95
	28.июн	178	84,1	15,6	78,3		217,8	138,85
	29.июн	173	82,2	15,6	75,2		139,5	135,4
	30.июн	166	86,1	15,6	64,3		64,3	133,85
2016	02.июн	211	102	28,5	80,5		2709,2	170,75
	03.июн	203	102	29,3	71,7		2628,7	167,15
	04.июн	201	102	28,5	70,5		2557	165,75
	05.июн	198	104	26,2	67,8		2486,5	164,1
	06.июн	193	106	24,7	62,3		2418,7	161,85
	07.июн	188	104	22,5	61,5		2356,4	157,25
	08.июн	185	99,4	21,7	63,9		2294,9	153,05
	09.июн	195	95	21	79		2231	155,5
	10.июн	201	90,8	21	89,2		2152	156,4
	11.июн	195	90,8	21	83,2		2062,8	153,4
	12.июн	195	88,8	20,3	85,9		1979,6	152,05
	13.июн	209	88,8	19,6	100,6		1893,7	158,7
	14.июн	250	88,8	19,6	141,6		1793,1	179,2
	15.июн	260	95	21	144		1651,5	188
	16.июн	247	97,2	21,7	128,1		1507,5	182,95
	17.июн	229	97,2	21	110,8		1379,4	173,6
2016	18.июн	223	92,9	20,3	109,8		1268,6	168,1
	19.июн	217	88,8	18,2	110		1158,8	162
	20.июн	211	84,8	18,2	108		1048,8	157
	21.июн	209	80,9	17,5	110,6		940,8	153,7
	22.июн	195	79	17,5	98,5		830,2	145,75
	23.июн	190	79	16,8	94,2		731,7	142,9
	24.июн	185	77,1	16,2	91,7		637,5	139,15
	25.июн	183	75,3	15,6	92,1		545,8	136,95
	26.июн	180	73,5	15,6	90,9		453,7	134,55
	27.июн	180	73,5	15,6	90,9		362,8	134,55

Дата		Q_n	Q_v	Q_{np}	$\Delta W/86400$		Σ	Q_{cp}
	28.июн	180	73,5	15,6	90,9		271,9	134,55
	29.июн	180	71,7	16,2	92,1		181	133,95
	30.июн	175	69,9	16,2	88,9		88,9	130,55
2017	03.июн	130	57	18,9	54,1		1423,73	102,95
	04.июн	128	61,6	14,9	51,5		1369,63	102,25
	05.июн	123	60,1	15,6	47,3		1318,13	99,35
	06.июн	123	64,9	16,2	41,9		1270,83	102,05
	07.июн	126	68,2	16,2	41,6		1228,93	105,2
	08.июн	130	75,3	15,6	39,1		1187,33	110,45
	09.июн	135	82,8	13,7	38,5		1148,23	115,75
	10.июн	142	79	12,6	50,4		1109,73	116,8
	11.июн	142	73,5	11,5	57		1059,33	113,5
	12.июн	144	68,2	11	64,8		1002,33	111,6
	13.июн	144	63,2	11	69,8		937,53	109,1
	14.июн	139	60,1	10,5	68,4		867,73	104,8
	15.июн	128	57	10,5	60,5		799,33	97,75
	16.июн	123	54,1	10,5	58,4		738,83	93,8
	17.июн	121	52,6	10,5	57,9		680,43	92,05
	18.июн	117	51,2	10,5	55,3		622,53	89,35
	19.июн	111	48,4	10,5	52,1		567,23	84,95
	20.июн	111	48,4	10	52,6		515,13	84,7
	21.июн	107	51,2	10	45,8		462,53	84,1
	22.июн	103	51,2	9,5	42,3		416,73	81,85
	23.июн	103	49,8	9,5	43,7		374,43	81,15
	24.июн	105	49,8	9,5	45,7		330,73	82,15
	25.июн	105	48,4	9,5	47,1		285,03	81,45
	26.июн	103	47,1	9,5	46,4		237,93	79,8
	27.июн	103	45,7	9,01	48,29		191,53	78,855
	28.июн	103	44,9	9,01	49,09		143,24	78,455
	29.июн	103	44,1	8,5	50,4		94,15	77,8
	30.июн	95	43,2	8,05	43,75		43,75	73,125

Данные для столбцов (1,2,3,4) принимаются из ежегодников ежедневных расходов воды в верхнем и нижнем створах основной реки и притока, который расположен между рассматриваемыми створами.

Столбец 5 получается путём проведения расчётов по формуле:

$$\frac{\Delta W}{86400} = Q_n - (Q_v + Q_{np}) \quad (5.12)$$

Столбец 6 получается путем последовательного суммирования данных столбца 5 от даты конца спада, до даты пика половодья.

Столбец 7 получается путем осреднения всех расходов по формуле 5.10.

На основе данных таблицы 5.4 (столбец 6) строится график зависимости русловых запасов в зависимости от расходов воды (рис. 5.1).

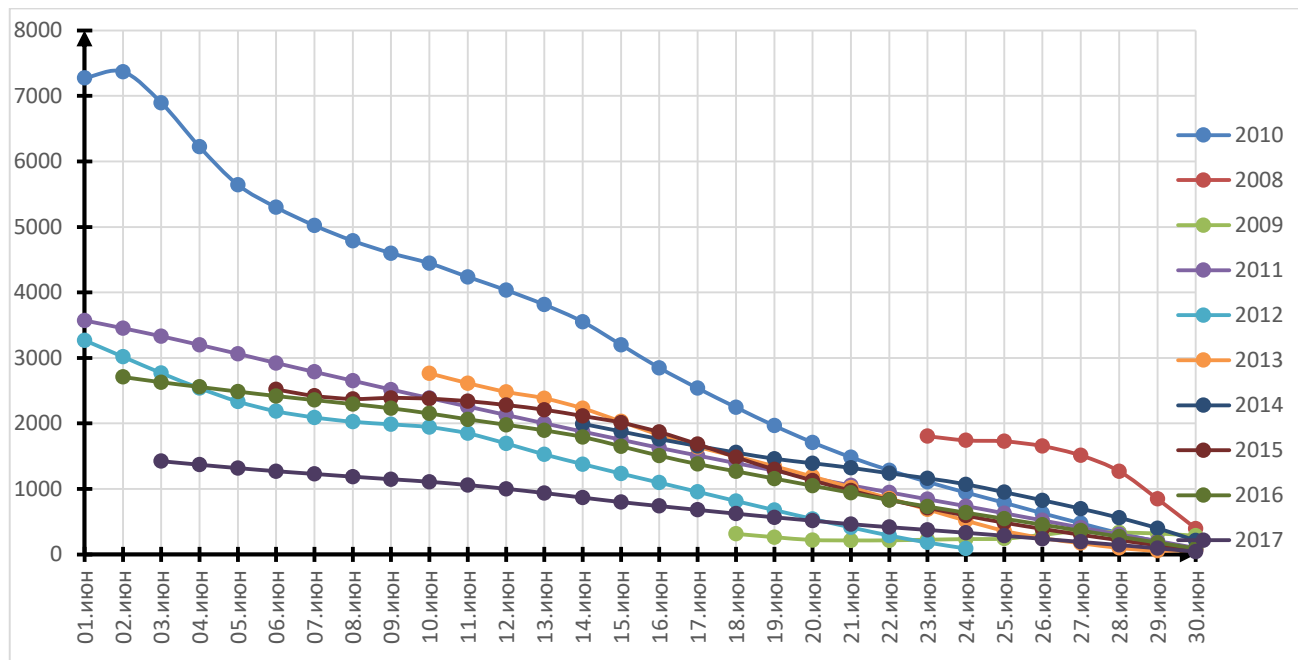


Рис. 5.1 Зависимости русловых запасов от расходов воды

Анализ рисунка 5.1 показывает, что наиболее пологая зависимость $W=f(Q)$ в рассматриваемом интервале времени является зависимость за 2011 г.

5.2. Приведение короткого ряда наблюдения к длительному. Графический способ

Графический метод приведения к многолетнему периоду допускается применять на начальных стадиях проектирования в основном для определения среднего многолетнего значения (нормы) стока. Графические зависимости могут быть построены при наличии не менее шести соответственных значений речного стока в расчетном створе и створе-аналоге. Зависимости считают удовлетворительными, если коэффициент корреляции между стоком в приводимом пункте и пункте-аналоге не менее 0,7. При прямолинейной зависимости норму стока в приводимом пункте определяют непосредственно по норме стока реки-аналога.

Криволинейные связи значений стока принимают лишь в тех случаях, когда они объясняются не случайным расположением точек, а характером колебания стока в приводимом пункте и пункте-аналоге.

При криволинейной связи по графику для расчетного створа восстанавливают ежегодные значения стока за период наблюдений в пункте-аналоге. По восстановленным значениям определяют расчетные параметры.

При приведении параметров распределения к многолетнему периоду на начальных стадиях проектирования допускается применять графоаналитический метод. Приведение параметров распределения осуществляют в следующей последовательности:

а) строят график связи между значениями стока приводимого ряда наблюдений и ряда-аналога за совместный период наблюдений;

б) по ряду-аналогу рассчитывают графоаналитическим методом параметры распределения, на основании которых строят аналитическую кривую распределения;

в) с аналитической кривой распределения снимают три квантиля распределения (5 %, 50 %, 95 %). Могут использоваться и схемы с пятью квантилями (1 %, 5 %, 50 %, 95 %, 99 %);

г) по графику равнообеспеченных значений стока определяют квантили 5 %, 50 % и 95 % обеспеченности для короткого ряда наблюдений:

д) на основании приведенных к многолетнему периоду значений 5%, 50 % и 95 % обеспеченности в пункте приведения с помощью графоаналитического метода рассчитывают параметры распределения. На их основании строят аналитическую кривую распределения и определяют расчетные значения гидрологических характеристик.

Если имеется непродолжительный период наблюдений в изучаемом створе реки, то его удлиняют с помощью реки-аналога 1 (створа-аналога), в котором наблюдения проводились в течение длительного периода.

Пример: Задан короткий ряд наблюдений за расходами привести к длинному ряду, используя в качестве аналога ряд расходов воды из первой части задания.

1. В системе прямоугольных координат (рис. 5.2) наносим точки, соответствующие расходам двух рек за период одновременных наблюдений, т.е.: $Q_2 = f(Q_1)$.

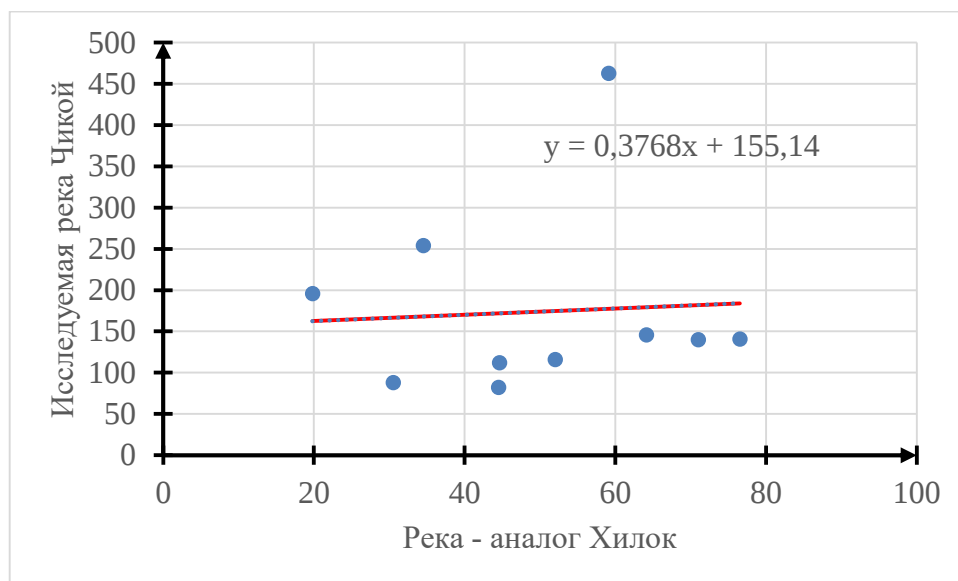


Рис. 5.2 График связи между значениями стока приводимого ряда наблюдений и ряда-аналога за совместный период наблюдений

2. Через полученные точки проводим вероятностную прямую.

3. Определяем тангенс угла наклона прямой:

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \frac{y_c - y_d}{x_c - x_d} \quad (5.13)$$

4. Определяем отрезок в отсекаемой прямой на ординате y , т.е. свободный член: b .

5. Составляем уравнение связи:

$$Q_{2(\text{расч})} = a Q_{1(\text{аналог})} + b \quad (5.14)$$

6. Используя уравнение связи и данные наблюдений за расходами воды за длительный ряд (река-аналог) рассчитываются расходы и для реки, имеющей короткий ряд наблюдений.

Расчеты целесообразно вести в табличной форме (табл.5.5).

Таблица 5.5

Приведение короткого ряда наблюдений к длительному

Годы	Q ₁ (река-аналог)	Q ₂ (исследуемая река)	Q ₂ (расчетный расход для исследуемой реки)
1967	88,8	-	188,6
1968	44,5	-	171,9
1969	70,4	-	181,7
1970	48,4	-	173,4
1971	48,6	-	173,5
1972	18,1	-	162,0
1973	50,8	-	174,3
1974	31,2	-	166,9
1975	27,9	-	165,7
1976	24,9	-	164,5
1977	16,7	-	161,4
1978	13,7	-	160,3
1979	20,1	-	162,7
1980	21,2	-	163,1
1981	21,2	-	163,1
1982	52,8	-	175,0
1983	58,5	-	177,2
1984	79,2	-	185,0
1985	67,1	-	180,4
1986	36,8	-	169,0
1987	19,8	196	162,6
1988	59,1	463	177,4
1989	34,5	254	168,1
1990	76,5	141	184,0
1991	71	140	181,9
1992	30,5	88,2	166,6
1993	44,6	112	171,9
1994	52	116	174,7
1995	64,1	146	179,3
1996	44,5	82,3	171,9

Линейное уравнение прямой имеет вид:

$$y = 0,377 \cdot x + 155,14$$

где b – ордината отклонений прямой линии от нулевой точки графика. В нашем случае $b = 155,14$; $a = \operatorname{tg} \alpha$ – угловой коэффициент: $a = 0,377$.

В таблице 5.6 приведены результаты сравнения среднегодовых модулей речного стока (л/с·км²) для реки-аналога (M_x) и базовой реки (M_y).

Таблица 5.6

Результаты сравнения среднегодовых модулей речного стока (л/с·км²) для реки-аналога (M_x) и базовой реки (M_y)

Годы	M_x (река-аналог)	M_y (исследуемая река)	M_y (расчетный расход для исследуемой реки)
1967	5,766	-	12,090
1968	2,890	-	11,020
1969	4,571	-	11,645
1970	3,143	-	11,114
1971	3,156	-	11,119
1972	1,175	-	10,382
1973	3,299	-	11,172
1974	2,026	-	10,699
1975	1,812	-	10,619
1976	1,617	-	10,547
1977	1,084	-	10,348
1978	0,890	-	10,276
1979	1,305	-	10,430
1980	1,377	-	10,457
1981	1,377	-	10,457
1982	3,429	-	11,221
1983	3,799	-	11,358
1984	5,143	-	11,858
1985	4,357	-	11,566
1986	2,390	-	10,834
1987	1,286	12,564	10,423
1988	3,838	29,679	11,373
1989	2,240	16,282	10,778
1990	4,968	9,038	11,793
1991	4,610	8,974	11,660
1992	1,981	5,654	10,682
1993	2,896	7,179	11,022
1994	3,377	7,436	11,201
1995	4,162	9,359	11,493
1996	2,890	5,276	11,020
Ср.знач.	2,90		11,02

На рисунке 5.5 представлен график связи среднегодовых модулей стока реки Чикой и реки-аналога (Хилок).

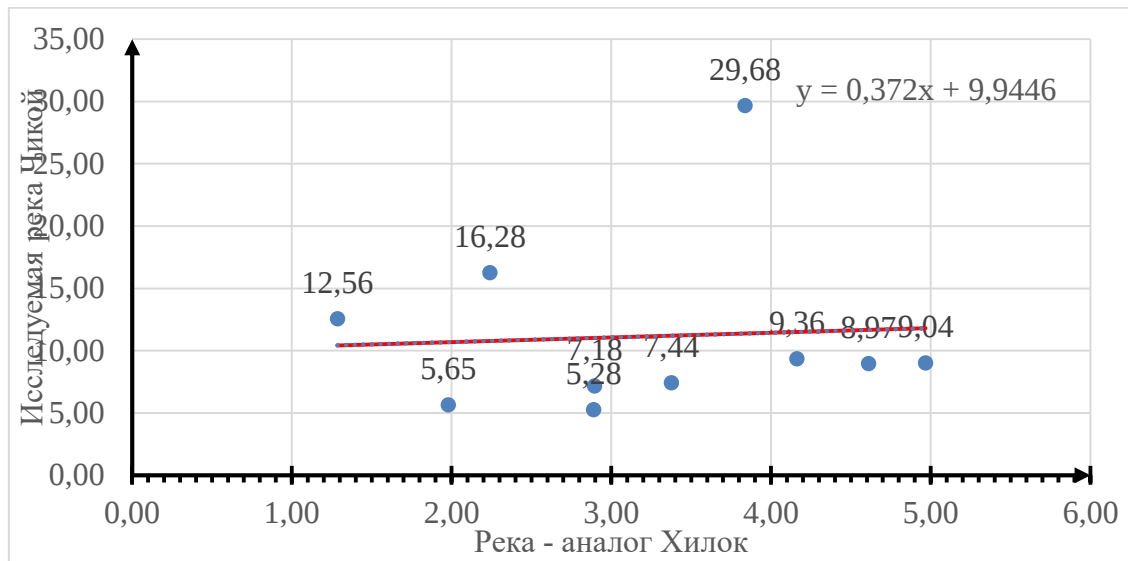


Рис. 5.5. График связи среднегодовых модулей стока р. Чикой и реки-аналога, л/с·км²

Среднегодовое количество стока:

$$Q_0 = \frac{M_0 \cdot F}{10^3} \quad (5.15)$$

$$Q_0 = \frac{11,02 \cdot 15600}{10^3} = 171,9 \text{ м}^3/\text{с},$$

Коэффициент изменчивости годового стока:

$$C_v = A \cdot \frac{M_{oa}}{M_o} \cdot C_{va} \quad (5.16)$$

где C_v – коэффициент изменчивости стока в расчетном створе; C_{va} – в створе реки-аналога; M_{oa} – среднегодовое количество стока реки-аналога; A – тангенс угла наклона графика связи.

$$C_v = 1,3 \cdot \frac{2,9}{11,02} \cdot 0,6 = 0,21$$

Окончательно принимаем:

$$M_o = 11,02 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2, Q_0 = 171,9 \text{ м}^3/\text{с}, C_v = 0,21.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заблаговременное предсказание сведений о режиме водных объектов называют гидрологическим прогнозом. Основными характеристиками гидрологического режима, по которым составляются прогнозы, являются: высота уровней воды, расход воды и сток, глубины на перекатах, сроки вскрытия и замерзания рек и др.

Прогнозы режима рек и водоемов представляют интерес для ряда отраслей народного хозяйства: энергетики, речного транспорта, водоснабжения и других водопользователей. Прогнозы на судоходных реках имеют большое значение для эффективного использования транспортного и технического флота. На основе прогнозов планируются сроки открытия и закрытия навигации, определяются осадка и загрузка судов транспортного флота, планируются путевые работы на реках, Составление и публикацию данных гидрологических прогнозов в стране осуществляет Гидрометцентр.

В ходе выполнения курсовой работы были рассмотрены и определены:

- получены расчётные формулы для прогноза уровней воды в период спада половодья;
- произведена экстраполяция уровней или расходов воды на основе учета закономерности хода уровней или расходов воды в рассматриваемом створе в течение предшествующего периода времени;
- определены русловые запасы воды р. Чикой на участке Гремячка-Поворот. Приток - р. Менза – с. Укыр.
- построены график зависимости русловых запасов от расходов воды на основе уравнения водного баланса;
- определено время добегания р. Чикой от станции Гремячка до станции Поворот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин Ю.М. Краткосрочные прогнозы стока на равнинных реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 266 с.
2. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 419 с.
3. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 391 с.
4. Боровикова Л.Н. и др. Статистические методы прогноза стока горных рек. - Труды САРГИМИ, 1977, вып. 51 (132). – 86 с.
5. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М. Модель поступления воды на поверхность горного бассейна и некоторые результаты ее проверки на бассейнах Западного Тянь-Шаня. - Труды САРГИМИ, 1979, вып. 52 (67), с. 3-20.
6. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 312 с.
7. Железняков Г.В., Неговская Т.А., Овчаров Е.Е. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. – М.: Колос, 1984. – 432 с.
8. Карасев И. Ф., Шумков И. Г. Гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 384 с.
9. Лучшева А.А. Практическая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 440 с.
10. Лучшева А.А. Практическая гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 424 с.
11. Мухин В.М., Полунин А.Я. Методические указания к разработке метода краткосрочного прогноза расхода воды горных рек на основе математической модели формирования стока (на примере р.Карадарья). – М: Гидрометеиздат, 1982. – 149 с.

12. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 384 с.
13. Нежиховский Р.А., Пособие, по краткосрочным прогнозам, паводочного стока рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 148 с.
14. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 256 с.
15. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 448 с,
16. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 94 с.
17. Ресурсы поверхностных вод: В 20 т. – Л.: Гидрометеиздат.
18. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 270 с.
19. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 424 с.
20. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 357 с.
21. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках– Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 346 с.
22. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 2004. – 36 с.
23. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1980.
24. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 84 с.