



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

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Современные методы**
учета стока

Исполнитель **Павлюкова Анастасия Владимировна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **к.т.н., доцент**
(ученая степень, ученое звание)

Векшина Татьяна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

к.г.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«9» февраль 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение.....	3
1. Теоретические основы учета речного стока в изменяющихся природно-хозяйственных условиях.....	5
2. Методы учета стока	12
2.1 Особенности вычисления стока	12
2.2 Методы, применяемые на гидрологической сети.....	13
2.3 Интерполяционно-гидравлические модели.....	19
2.4 Метод основанный на применении параметра Великанова.....	23
3. Анализ и оценка учета стока.....	25
3.1 Природные условия.....	25
3.2 Учет нормы и изменчивости годового стока.....	43
3.3 Учет внутригодового распределения стока.....	53
3.4 Учет максимального стока весеннего половодья.....	54
3.5 Учет меженного стока рек.....	60
Заключение.....	68
Список использованной литературы.....	70

Введение

Актуальность темы исследования. В большинстве районов России основным источником водных ресурсов остается речной сток. Речной сток является результатом взаимодействия многих климатических факторов (температура и влажность воздуха, атмосферные осадки, солнечная радиация, испарение и др.) и физико-географических условий речного бассейна (ландшафт, почвы, геологическое строение, растительный покров и др.).

Происходящее в последние десятилетия изменение как глобального, так и регионального климата, наиболее ощутимо проявляющееся повышением температуры воздуха и изменением режима атмосферных осадков, заметно сказывается на изменении водных ресурсов и гидрологическом режиме водных объектов.

Кроме того, хозяйственная деятельность человека, осуществляемая как на водосборах, так и в руслах рек также приводит к значительным изменениям количественных и качественных характеристик речного стока. Негативные антропогенные воздействия на речной сток проявляются в форме острых проблем, связанных с изменением состояния устьевых областей рек и внутренних морей, в которые впадают эти реки.

Происходящие изменения речного стока влияют на эффективность функционирования водноресурсных систем речных бассейнов, от которых зависит надежное водообеспечение населения, промышленности, гидроэнергетики, сельского и рыбного хозяйства.

В связи с этим, в настоящее время одной из актуальных проблем в области использования водных ресурсов является усовершенствование методов анализа и оценки количественных и качественных характеристик речного стока в изменяющихся природно-хозяйственных условиях.

Поскольку масштабы и направления этих изменений по разному проявляются в различных речных бассейнах и регионах, требуется при разработке соответствующих методов оценки и учёта нестационарности характеристик речного стока и их практической апробации рассмотреть 4 речные бассейны, расположенные в различных физико-географических условиях и отличающиеся по характеру и масштабам антропогенного воздействия на водные ресурсы.

Предмет исследования - учет стока вод.

В качестве объекта исследований выбраны реки Новосибирской области.

Основной целью настоящей работы является совершенствование методов учета стока.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение комплекса взаимосвязанных задач:

- анализ многолетней изменчивости годовых величин речного стока и их учёт при совершенствовании методов оценки количественных и качественных характеристик речного стока;
- изучение методик оценки речного стока;
- исследование процесса трансформации речного стока;
- учет речного стока в Новосибирской области.

Методика исследования включает в себя современные методы системного анализа и его прикладного аппарата математического моделирования. В работе широко используются основные положения статистического анализа временных рядов, сплайн-функции, метод остаточных отклонений и метод композиции вероятностей случайных процессов.

1. Теоретические основы учета речного стока в изменяющихся природно-хозяйственных условиях

В большинстве районов России основным источником водных ресурсов остается речной сток. Речной сток является результатом взаимодействия многих климатических факторов (температура и влажность воздуха, атмосферные осадки, солнечная радиация, испарение и др.) и физико-географических условий речного бассейна (ландшафт, почвы, геологическое строение, растительный покров и др.). Происходящее в последние десятилетия изменение как глобального, так и регионального климата, наиболее ощутимо проявляющееся повышением температуры воздуха и изменением режима атмосферных осадков, заметно сказывается на изменении водных ресурсов и гидрологическом режиме водных объектов.

Кроме того, хозяйственная деятельность человека, осуществляемая как на водосборах, так и в руслах рек также приводит к значительным изменениям количественных и качественных характеристик речного стока. Негативные антропогенные воздействия на речной сток проявляются в форме острых проблем, связанных с изменением состояния устьевых областей рек и внутренних морей, в которые впадают эти реки.

Происходящие изменения речного стока влияют на эффективность функционирования водноресурсных систем речных бассейнов, от которых зависит надежное водообеспечение населения, промышленности, гидроэнергетики, сельского и рыбного хозяйства.

В связи с этим, в настоящее время одной из актуальных проблем в области использования водных ресурсов является усовершенствование методов анализа и оценки количественных и качественных характеристик речного стока в изменяющихся природно-хозяйственных условиях. Поскольку масштабы и направления этих изменений по разному

проявляются в различных речных бассейнах и регионах, требуется при разработке соответствующих методов оценки и учёта нестационарности характеристик речного стока и их практической апробации рассмотреть речные бассейны, расположенные в различных физико-географических условиях и отличающиеся по характеру и масштабам антропогенного воздействия на водные ресурсы.

Речной сток в широком смысле – главный элемент материкового звена глобального круговорота вещества и энергии. Речной сток – это одновременно и характеристика количества стекающей воды, и процесс стекания воды в речных системах. Водные потоки, воздействуя на земную поверхность, производят разрушение и смыв слагающих ее горных пород и почв, перемещение разрыхленного материала вниз по течению и, наконец, отложение (или многократное переотложение) последнего на относительно низких уровнях либо там, где поток прекращает свое существование (например, втекая в водоем).

Все водные потоки на поверхности суши делятся на три основных звена [1]: 1) нерусловые потоки талых или дождевых вод, текущие по поверхности склонов и производящие смыв почвы; 2) русловые временные потоки, текущие по ложбинам, лощинам, оврагам, балкам и производящие размыв покровных пород; 3) реки – постоянные русловые потоки, протекающие в долинах, врезаемые в водоносные горизонты (иногда и в коренные породы) до некоторого базисного уровня.

Продукты эрозии перемещаются потоками первого (верхнего) звена только в пределах длины склона, потоками второго звена – до ближайшего местного базиса эрозии. Лишь реки переносят твердый материал на большие расстояния. Во всех звеньях прослеживается тесная связь между эрозией и аккумуляцией. Эрозионно-аккумулятивные процессы в этих звеньях расчленяются на процессы эрозии почв, овражной эрозии и русловых процессов. Эрозия почв и овражная эрозия часто объединяются термином «эрозионные процессы временных потоков».

Русловые процессы в реках непрерывны и постоянно изменяются в зависимости от гидрологического режима [2]. Интенсивность, характер и направленность русловых процессов определяются взаимодействием движущейся воды, перемещаемых водой наносов и слагающих ложе потока грунтов.

Под влиянием этого взаимодействия возникают различные формы русла, которые, в свою очередь, становятся фактором, влияющим на гидравлические параметры потока. Количество твердого материала, перемещаемого водными потоками с материков в океаны и в большие глубокие озера, составляет около 17,0 млрд т/год. Для сравнения: около 3,5 млрд т/год растворенных веществ переносится реками и подземными водами и лишь 3 млрд т/год перемещают с суши в океаны остальные виды денудации – ветер, ледники и т. д.

Глобальные эрозионно-аккумулятивные циклы геологического масштаба времени проявляются в круговороте наносов, когда в разных районах планеты сменяется характер этих циклов: эрозия осадочных пород на материке – смыв наносов в океан – тектоническое поднятие и превращение морских отложений в сушу – эрозия этих отложений и т. д. В каждый конкретный момент можно говорить лишь о направленном поступлении наносов с суши в Мировой океан. Основным переносчиком продуктов эрозии в океан является речной сток.

На протяжении нескольких веков в соответствии с запросами практики речные русла оказались предметом исследований естественных (гидрология и геоморфология) и технических (гидротехника и гидродинамика) дисциплин, на основе которых получено решение многих общих и частных задач русловых процессов [3].

Первые исследования процессов в речных руслах относятся к средним векам. Уже Галилео Галилей (1564–1642) консультировал проект спрямления излучин Тибра, разработанный с целью снизить уровни

половодий, затопляющих Рим. В XVIII–XIX вв. на реках Европы производились исследования для обоснования проектов улучшения судоходных условий. Проекты включали прогноз изменения глубины, что давало возможность определить экономический эффект намеченных работ.

Развернувшаяся в конце XIX – начале XX в. «борьба за глубины» между сторонниками выправления и углубления рек привела к необходимости научного обоснования целого комплекса проблем русловых процессов. Особенно обострились эти проблемы в связи с реализацией нескольких неудачных проектов выправления рек. В 1892 – 1904 гг. был проведен ряд съездов российских деятелей по водным путям и международных конгрессов по судоходству.

В дискуссиях о способах улучшения судоходных условий зарождались первые научные представления о русловом процессе. Потребность в прогнозах изменений глубин способствовала зарождению науки о русловых процессах как самостоятельной дисциплины, основоположниками которой в России были крупные инженеры и ученые-гидротехники В. М. Лохтин и Н. С. Лелявский. В 1897 г. В. М. Лохтин опубликовал первую крупную работу «О механизме речного русла», в которой были заложены научные основы русловых процессов. Его идеи сводились к следующему.

Деформации речных русел и пойм и морфологические образования являются следствием транспорта наносов, т. е. их переотложением в процессе перемещения потоком вниз по течению. Основную их часть поток получает со своего водосбора. Количество наносов, поступающих в поток, для последующего транспортирования им до водоприемника будет зависеть от уклонов водосбора (определяют скорость стекания), слагающих их грунтов (определяют состав и крупность наносов) и расхода воды (водности). Первым исследователем скоростной структуры речных потоков был современник Лохтина Н. С. Лелявский, разработавший схемы течений.

Среди зарубежных исследователей конца XIX – начала XX в. выделяются французские инженеры Л. Фарг, установивший ряд закономерностей формирования речных излучин, и Г. Жирардон, предложивший первую классификацию речных перекатов. После Октябрьской революции в Советском Союзе начинается интенсивное изучение рек. В Ленинграде и Москве формируются крупные научные центры.

Так, уже в 1919 г. в Ленинграде был организован Государственный гидрологический институт, а позднее – Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б. Е. Веденеева. В Москве изучение русловых процессов в основном концентрируется в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова.

Именно в данный период бурно развиваются исследования в области русловых процессов, связанные с именами таких ученых, как М. А. Великанов, В. Н. Гончаров, В. М. Маккавеев и др., разработавших теоретические основы русловых процессов и сформировавших их в самостоятельную дисциплину.

После создания Московского гидрометеорологического института в 1930 г. в нем усилиями М. А. Великанова был написан и прочитан курс лекций «Динамика русловых потоков», на основании которого в 1946 г. был издан первый учебник. В работах многих гидрологов установлены зависимости таких морфометрических характеристик русла, как ширина и глубина, от расходов воды, уклонов и грунтов.

Среди них наиболее известны гидроморфологические зависимости М. А. Великанова, В. Г. Глушкова, имеющие наиболее обобщенный вид. Дальнейшее развитие исследований по русловым процессам связано с ленинградской, московской и другими научными школами, имевшими хорошую экспериментальную базу (Н. Е. Кондратьев, И. В. Попов, Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов и др.). Крупные работы были выполнены и в ряде зарубежных стран: США, Англии, Нидерландах, Италии и др. (Л. Б.

Леопольд и М. Ж. Вольман и др.). В результате сформировались два направления исследований теории русловых процессов – гидродинамическое и гидроморфологическое.

Они имеют свои области применения и существенно дополняют друг друга. Их дальнейшее развитие направлено на создание единой теории русловых процессов, включающей достижения как гидродинамического, так и гидроморфологического направлений. Одновременно с теорией русловых процессов осуществляется разработка ее наиболее сложной составляющей – теории пойм.

На основе комплексного подхода к проблеме пойм была теоретически обоснована концепция, объединяющая в себе морфологию и гидравлику пойм. В этом направлении следует отметить исследования Н. И. Маккавеева, И. В. Попова, Н. Б. Барышникова, Р. С. Чалова и др. Результаты исследований на рубеже XX–XXI вв., посвященных различным аспектам движения наносов и русловых процессов как в естественных условиях, так и при антропогенном воздействии (включая прогноз русловых деформаций), опубликованы в серии монографий, учебников и методических пособий Н. И. Алексеевского, Р. С. Чалова, К. М. Берковича, Н. Б. Барышникова и др. В XXI в. в Российском государственном гидрометеорологическом университете под руководством Н. Б. Барышникова было выполнено исследование принципиально нового направления, посвященного роли русловых процессов в саморегулирующейся системе «бассейн – речной поток – русло» с учетом антропогенного воздействия на эту систему. Следует отметить работы зарубежных авторов – А. Раудкиви, Г. Чанга, Т. Чена и др., а также голландской лаборатории в г. Дельфте.

За последние годы выполнен значительный объем теоретических, лабораторных и натурных исследований, что позволило по-новому подойти к решению ряда принципиальных вопросов.

Результаты этих исследований служат теоретической основой для проектирования водохозяйственных мероприятий (дноуглубление, карьерные разработки, агро- и лесомелиорация и др.) и различных гидротехнических сооружений (водохранилища, мостовые переходы, линии электропередачи (ЛЭП), водозаборы и др.).

Изучение русловых процессов имеет большое значение для решения задач, выдвигаемых многочисленными запросами практики. Любая отрасль народного хозяйства, предприятия которой расположены в речных долинах или использующая водные ресурсы, в той или иной мере должна учитывать деятельность реки.

Процессы, протекающие в естественных условиях в масштабах геологического и исторического времени, а также крупные изменения природных условий, вызванные сооружением водохранилищ, водозаборов, преобразованием русел рек, переброской стока, сведением лесов и распашкой земель, привели к существенным изменениям руслоформирующей деятельности рек.

Одним из наиболее давних «потребителей» теории руслового процесса является водный транспорт. Для улучшения судоходных условий в связи с ростом перевозок речным флотом проводятся работы по регулированию русел. Часто это происходит в комплексе с добычей полезных ископаемых. Чтобы эти работы были достаточно эффективны, необходимо максимальное использование руслоформирующей деятельности самого потока.

Поэтому познание закономерностей руслового режима рек и обоснование прогноза русловых деформаций составляют основу проектирования судоходных трасс и карьерных разработок.

Глава 2. Методы учета стока

2.1 Особенности вычисления стока

В зимний период учёт стока осложняется изменчивостью и многообразием факторов, определяющих пропускную способность русла. Появление льда и ледяных образований на реках всегда сопровождается уменьшением пропускной способности русла.

Большое значение имеют такие особенности зимнего режима рек, как характер процессов замерзания и вскрытия, устойчивость ледостава, возможность образования заторов и зажоров, закономерности изменения водности зимой.

Учет хода уровня в условиях переходных периодов и периодов временных вскрытий осложняется следующими обстоятельствами:

- Сложным влиянием ледяных образований на участке станции, отличающихся в рассматриваемые периоды большим разнообразием в качественном отношении и различным количественным развитием.
- Невозможностью в общем случае учесть степень стеснения сечения потока льдом посредством коэффициента стеснения α , поскольку сплошной ледостав наблюдается в рассматриваемые периоды редко, а если и наблюдается, то обычно сопровождается шугообразованием.
- Влиянием ледяных образований, главным образом зажоров и заторов, на нижележащем участке реки.

Переменный подпор от зажоров и заторов является фактором, наиболее осложняющим учет уровня при вычислении стока. В некоторых случаях подпор от зажора или затора может настолько резко нарушить связь между расходом и уровнем, что учет хода уровня в подпорный период становится нецелесообразным. Поэтому в переходные периоды применение изложенных выше простых приемов учета хода уровня недостаточно.

Кроме хода уровня, должен учитываться ряд других элементов гидрологической обстановки, а кроме того, могут привлекаться косвенные соображения для уточнения вычислений в интервалах между измерениями расходов.

Рассмотрим основные варианты учёта стока.

Прежде всего проверяется возможность построения зимних кривых расхода. Для зимнего периода может быть получено несколько самостоятельных кривых, соответствующих:

- 1) переходному периоду осеннего замерзания;
- 2) периоду сплошного ледостава;
- 3) весеннему предледоходному периоду;
- 4) переходному периоду весеннего вскрытия.

При невозможности построения зимних кривых расхода наиболее простым решением задачи вычисления стока является интерполяция расходов воды в интервале между их измерениями.

Для построения зимних кривых расходов, а тем более для интерполяции измеренных расходов воды надо располагать достаточно большим количеством этих измерений, но их выполнение в холодное время года – нелёгкий труд.

Поэтому в практике учёта зимнего стока всегда стремились опираться не только на измерения расходов, но и на некоторые дополнительные физические предпосылки.

К числу таких предпосылок относится предложенная С.Колупайло относительная характеристика пропускной способности русла – переходный коэффициент $K_{зим}$.

Описание упомянутых выше методов учета стока дается в следующем разделе.

2.2 Методы, применяемые на гидрологической сети

В настоящее время, согласно Наставлению, в зимний и переходные периоды применяются способы учета стока, перечисленные в таблице 1.

Таблица 1 - Способы учёта стока для различного типа зимнего режима*.

Тип 1		Тип 2	Тип 3	Тип 4
А	Б			
1. Интерполяция между измеренными расходами	$K_{зим} = f(t)$	$K_{зим} = f(t)$ в сочетании со срезкой уровней	Интерполяция между измеренными расходами	Интерполяция между измеренными расходами
2. Интерполяция между измеренными расходами с использованием $K_{зим}$	Зимние кривые расходов	$K_{зим} = f(a)$	Срезка уровней	Зимние кривые расходов
3. Зимние кривые расходов	$K_{зим} = f(a)$	Интерполяция между измеренными расходами	Восстановление уровней по графику связи с бесподпорным постом	

* 1 тип - непрерывный ледостав (А- без оттепелей, Б- с оттепелями);

2 тип - неустойчивый ледостав;

3 тип - подпор от зажора;

4 тип – перемерзание и надледи.

Интерполяция между измеренными расходами.

Применяют графическую криволинейную интерполяцию, т.е. непосредственное построение гидрографа по точкам (Q, t) измеренных расходов.

При проведении линии гидрографа необходимо стремиться к осреднению случайных отклонений значений измеренных расходов, однако это возможно только при весьма частом измерении расходов (5-6 измерений в месяц).

Кроме того, при осреднении необходимо учитывать характер питания водотока в рассматриваемый период. При отсутствии притока поверхностных вод, т.е. при выраженном спаде осреднение является обязательным, а при колебаниях расходов разного знака осреднение не рекомендуется.

Важно отметить, что применение интерполяции между измеренными расходами прежде всего целесообразно во всех тех случаях, когда с одной стороны, учёт хода уровня не может дать уточнения вычислений, а именно при наличии переменного подпора от ледяных образований на нижележащем участке (тип 3), при движении потока поверх льда в результате перемерзания (тип 4), а с другой стороны, когда изменение расхода имеет характер монотонного однонаправленного изменения, т.е. для зимы с устойчивым ледоставом и без оттепелей (тип 1, вариант А), при постепенном уменьшении расходов (случай отсутствия поверхностного питания) и, что для нас важно, на подъеме половодья (даже если при этом имели место колебания разного знака). Но в любом случае данный способ требует значительного числа измерений.

Построение хронологического графика зимних переходных коэффициентов.

Переходный коэффициент $K_{зим}$ выражает степень нарушения связи между расходом и уровнем, свойственной свободному руслу, в результате суммарного влияния ледяных образований:

$$K_{зим} = Q_{зим} / Q_0,$$

где $Q_{зим}$ - расход воды при наличии ледяных образований;

Q_0 - расход, снятый при том же уровне с кривой расходов свободного русла.

При применении этого способа предварительно вычисляются и наносятся на график ($K_{зим}$, t) значения зимних переходных коэффициентов измеренных расходов. Затем по полученным точкам строится хронологический график зимних коэффициентов $K_{зим} = f(t)$.

Для построения хронологического графика используются схемы построения, разработанные Огиевским, предпринявшим попытку гидрометеорологического обоснования учета зимнего стока. Эти схемы построены на общих закономерностях в зависимости от температуры воздуха и гидрологических факторов.

Для периода сплошного ледостава линия графика проводится как плавная кривая, проходящая непосредственно по точкам значений $K_{зим}$; при очень частых измерениях линию графика проводят осреднённо.

Расчет стока с помощью хронологического графика зимних переходных коэффициентов целесообразен в тех случаях, когда учёт хода уровня может дать уточнение результатов вычислений, следовательно, когда колебания уровня отражают изменения расхода, и в то же время колебания расхода имеют разный знак или же происходят не плавно.

Наиболее сложным случаем является использование переходных коэффициентов в переходные периоды. Так при построении $K_{зим}$ в осенне-зимний период следует учитывать:

а) ход температуры воздуха и осадков (по комплексному графику);

б) сведения о характере и количественном развитии ледяных образований (балл ледохода, ширина и толщина заберегов, особенно данные о шуге и т.д.);

в) сведения о ледовой обстановке на нижележащем участке реки, особенно сведения о заторах;

г) ход уровня на других постах, расположенных на данной реке (по совмещенному графику);

д) материалы вычислений стока, сведения о ледовых явлениях и комплексные графики прошлых лет

При отсутствии видимой связи между расходом и уровнем, что имеет место при зажорно-заторном режиме, использование зимних переходных коэффициентов недопустимо, так как может повлечь грубые ошибки.

Таким образом, как и в случае интерполяции расходов метод переходных коэффициентов строится на графических построениях (более сложных) и не имеет аналитического обоснования.

Вычисление зимних переходных коэффициентов с учётом стеснения живого сечения потока ледяными образованиями (методика Л.И. Ковалёва).

Л.И.Ковалев разработал достаточно общие и простые схемы расчета зимних расходов воды. В их основу была положена зависимость $K_{зим} = f(\alpha)$, где степень стеснения живого сечения потока ледяными образованиями учитывается коэффициентом α , равным отношению площади живого сечения ω потока под ледяным покровом к полной площади поперечного сечения, ограниченной сверху линией уровня воды в лунке $\omega_{полн}$:

$$\alpha = \frac{\omega}{\omega_{полн}} = \frac{(\omega_{полн} - \omega_{пл})}{\omega_{полн}}$$

Величина $\omega_{\text{полн}}$ представляет площадь живого сечения потока для данного уровня при свободном состоянии русла, а $\omega_{\text{пл}}$ – площадь погруженного льда.

Критерием применимости способа является величина отклонения вычисленных по измеренным расходам точек ($K_{\text{зим}}$, a) для основного ледоставного периода от кривой, при отклонениях по ординате свыше +15-20% способ не может быть использован. Опыт показал, что связь $K_{\text{зим}} = f(a)$ действительна для малых и средних по водности рек и не обладает необходимой общностью.

Вычисление по зимним кривым прежде всего целесообразно использовать в целях сокращения числа измеренных расходов в период сплошного ледостава, при устойчивом ледоставе без оттепелей и для получения однозначной связи в условиях сплошного ледостава при наличии оттепелей, вызывающих увеличение расходов, но не нарушающих устойчивость ледяного покрова.

$K_{\text{зим}}$

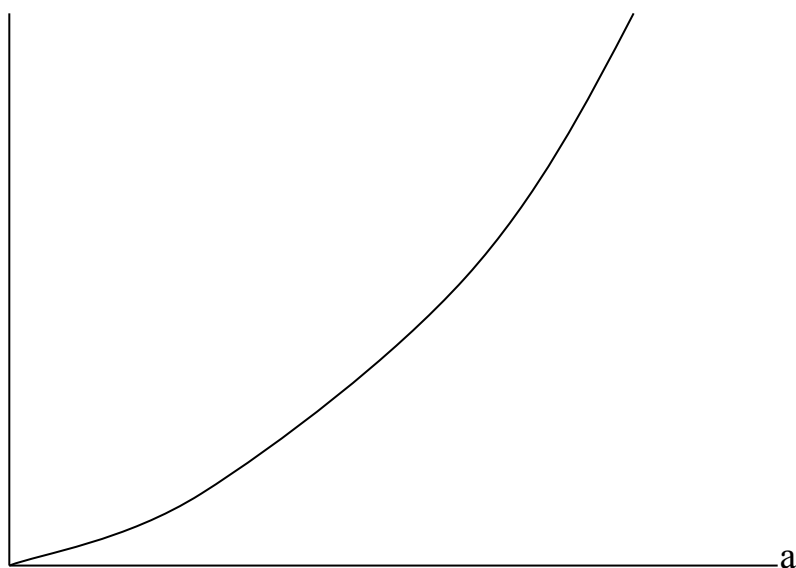


Рисунок 1 - Вид кривой $K_{\text{зим}} = f(a)$

Однако нужно иметь ввиду, что в данном варианте зимнего режима применение кривых оправдывает себя только для крупных рек. На средних и малых реках при рассматриваемом режиме могут иметь место колебания уровня, обусловленные только ходом ледообразования, учет которых при вычислении стока ошибочен.

Подпор от затора осложняет применение кривых, но если такой подпор носит кратковременный и ясно выраженный характер, то кривые все же могут применяться в сочетании со срезкой подпорных уровней.

Кривые расходов периода весеннего вскрытия являются кривыми неустойчивой связи, выражающими связь между расходом и уровнем, изменяющуюся во времени, вследствие постепенного убывания влияния ледообразований.

Срезка подпорных уровней за подпорный период.

Метод применяется, когда подпор от ледяных образований на нижележащем участке резко выражен, границы начала и конца подпорного периода чётко определяются по графику уровня и в то же время указанный период не освещён измерениями расходов. Сущность рассматриваемого приёма заключается в том, что наблюденные уровни за подпорный период не учитываются.

Восстановление уровней по кривой связи с бесподпорным постом.

Необходимым условием для применения этого способа является отсутствие влияния подпора на уровни смежного поста, т.е. этот пост должен либо находиться ниже места возникновения подпора, либо быть вне зоны распространения подпора.

Способ применим, как правило, только в тех случаях, когда подпор от заторно-зажорных явлений возникает при свободном состоянии русла на обоих постах, так как кривая связи для несвободного состояния русла обычно не получается.

Ценность рассматриваемого приёма заключается в том, что он позволяет исключить влияние подпора даже в тех случаях, когда в

подпорный период имеет место немонотонный и неплавный ход изменений расхода.

2.3 Интерполяционно-гидравлические модели

Анализ применяемых в настоящее время методов учета стока в зимний период показал, что они в основном опираются на графические построения и имеют существенные ограничения.

Более обоснованы физически и точны интерполяционно-гидравлические модели, получившие развитие в исследованиях И.Ф.Карасева. Одним из результатов этих исследований был выход в 80 году рекомендаций по учету стока на реках в зимний и переходные периоды, разработанных отделом гидрометрии ГГИ и сотрудниками ВВУГкс под руководством И.Ф.Карасева.

Особое преимущество предлагаемых моделей состоит в возможности экстраполяции пропускной способности русла для получения оперативных данных о расходах воды в реках. Предлагаемые физико-математические модели проверялись в частности ВВУГКС и оказались эффективней применяемых способов, но не получили распространения из-за отсутствия в то время на гидрологической сети вычислительной техники.

К настоящему времени большинство станций гидрологической сети оснащено компьютерами и имеет возможность использовать, методы учета стока требующие выполнения большого объема вычислений, что открывает перспективу повышения точности учета стока за счет внедрения современных методик и технологий, основы которых были заложены в конце прошлого века.

Поэтому возникла необходимость в обосновании перехода на новые методы. Здесь рассматриваются два метода, рекомендуемые для учета стока в зимний период на реках с устойчивым ледоставом: регрессионно-

гидравлическая модель (РГМ) и модель, предназначенная для расчета ветви подъема гидрографа.

Регрессионно-гидравлическая модель.

Данная модель использует уравнение регрессии, предикторами которого являются факторы, определяющие величину $K_{зим}$:

- фактор шероховатости, представленный как фактор времени, тем самым учитывается закономерность изменения гидравлических сопротивлений в зимний и переходные периоды

$$x_1 = \frac{T}{T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}},$$

где T – время в сутках от начала ледообразования;

T_l – продолжительность зимнего периода

- факторы, отражающие степень стеснения русла льдом

$$x_2 = \frac{\omega_l}{\omega_0}; \quad x_4 = \frac{\omega_l^2}{\omega_0^2},$$

где ω_l – площадь погруженного льда;

ω_0 – полная площадь сечения

- смешанные факторы

$$x_3 = \frac{\omega_l}{\omega_0} \frac{T}{T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}}; \quad x_5 = \frac{\omega_l^2}{\omega_0^2} \frac{T}{T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}};$$

Таким образом, получаем уравнение множественной линейной регрессии

$$y = K_{зим} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5.$$

Включение в модель РГМ нелинейных членов (x_3 и x_5) считается весьма целесообразным, так как показано, что оно существенно расширяет возможности регрессионного анализа.

В уравнении непосредственно не учтены факторы, определяющие процесс вскрытия ото льда: механическое воздействие воды на ледяной

покров, нарушающее его целостность, и тепловое разрушение льда под действием солнечной радиации и положительных температур воздуха. Их физическая оценка чрезвычайно затруднена.

В структуре уравнения (3.6) совместное проявление механического и теплового факторов вскрытия рек в порядке первого приближения учтено фактором времени.

Для получения режимных данных учета стока предлагается использовать как годовые зависимости (полученные по данным измерений текущего года), так и многолетнюю зависимость (полученную по всей совокупности наблюдений) или многолетние зависимости (полученные с учетом суровости зимы). При этом параметры уравнения определяются по данным измерений всего зимнего периода.

Модель спада зимних расходов и истощения стока

Одна из особенностей гидрографа в устойчивые зимы без оттепелей – спад расходов воды по мере убывания запасов влаги в бассейне реки. На основе этой физической тенденции построена одна из моделей гидрометрического учёта стока.

Уменьшение расходов воды с наступлением межени, в том числе и зимней, происходит по экспоненциальному закону. Он впервые был получен Буссинеском, как частное решение линеаризованного уравнения неустановившегося движения грунтовых вод при большой мощности водоносного пласта.

В действительности же подземное питание рассредоточено по различным водоносным горизонтам, располагающимся на разных высотах. Применительно к этим условиям кривая спада гидрографа стока эффективно описывается формулой, выведенной Буссинеском как решение дифференциального уравнения фильтрации

$$Q=Q_0/(1+\alpha_0 T)^2$$

где α_0 – константа истощения грунтового питания, T – время.

Уравнение (5) относится к отдельному водоносному горизонту, при этом за Q_0 принимается расход, при котором река переходит на подземное питание.

Для рек с относительно малыми потерями стока на ледообразование при отсутствии интенсивного уменьшения расходов в начальный период ледостава будем иметь:

$$Q_0/Q = 1 + 2 a_0 T + a_0 T^2$$

Ветвь подъема гидрографа стока требует особой аппроксимации. Задача упрощается тем, что нарастание расходов воды в предвесенний период во многих случаях описывается монотонной кривой. В данном случае в качестве отправной величины служит минимальный расход воды, измеренный в начале подъема гидрографа, а ветвь подъема аппроксимируется зависимостью:

$$Q_t = Q_{\text{мин}} * e^{(a_0 + a_1 T)}$$

где T – время в сутках от начала подъема,

a_0, a_1 – коэффициенты регрессионного уравнения:

$$\ln(Q_t / Q_{\text{мин}}) = a_0 + a_1 T$$

Как показали численные эксперименты указанная зависимость неплохо аппроксимирует начало подъема гидрографа, но как правило существенно занижает расходы воды в период вскрытия, несомненно лучшие результаты для периода вскрытия дает модель РГМ.

2.4 Метод основанный на применении параметра Великанова

Гидравлическое сопротивление движению руслового потока в зимний период значительно меняется, особенно в период вскрытия. На постах гидрологической сети измеряются уровни H , расходы Q , толщина льда и температура воды t , но, как правило, не выполняются измерения уклонов I и тем более не оцениваются коэффициенты шероховатости n , служащие основной характеристикой сопротивления русла, поэтому для

оценки гидравлических сопротивлений целесообразно использовать комплекс:

$$m = \sqrt{I/n} = \frac{QB^{2/3}}{\omega^{5/3}}$$

где ω площади живого сечения потока под ледяным покровом,

B – ширина русла;

Комплекс $m = \sqrt{I/n}$ играет особую роль в динамике русловых потоков. Его использовал М.А.Великанов при разработке метода построения плана течений, а в гидрометрии он принят в качестве основополагающего параметра интерполяционно-гидравлических моделей расходов воды. Особенность комплекса m (он получил название параметр Великанова) состоит в том, что при однородной шероховатости русла он сохраняет относительное постоянство, независимо от колебаний расходов воды.

В нашем случае посредством использования параметра Великанова открывается возможность: во-первых, учета изменения гидравлических сопротивлений в зимний период (в том числе при вскрытии реки); во-вторых, получения расходов воды, при этом формула для вычисления ЕРВ имеет следующий вид:

$$Q = \frac{m\omega^{5/3}}{B^{2/3}}$$

где величины ω и B , определяются для каждого расчетных суток по среднесуточным уровням H на основе зависимостей $\omega(H)$ и $B(H)$ (получаемых для каждого створа), а параметр m находится по результатам линейной интерполяции значений m , определяемых по данным измерений расходов воды.

3. Анализ и оценка учета стока

3.1 Природные условия

Новосибирская область образована 28 сентября 1937 года, расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины, примыкающей на востоке к Салаирскому кряжу. Занимаемая площадь около 178,2 тыс. км², область располагается в трех природных зонах - лесной, лесостепной и степной. Максимальная ее протяженность с запада на восток - более 600 км и с юга на север - более 400 км. На западе и востоке область граничит соответственно с Омской и Кемеровской областями; с севера и северо-востока к ней примыкают земли Томской области, а с юга и юго-запада - Алтайского края.

Большая часть области лежит на междуречье Оби и Иртыша, занимая южную часть Васюганья, Барабинскую низменность и северную часть Кулундинской степи с ярко выраженным равнинным рельефом, и только в восточной части области располагаются остроги Салаирского кряжа (рисунок 2).

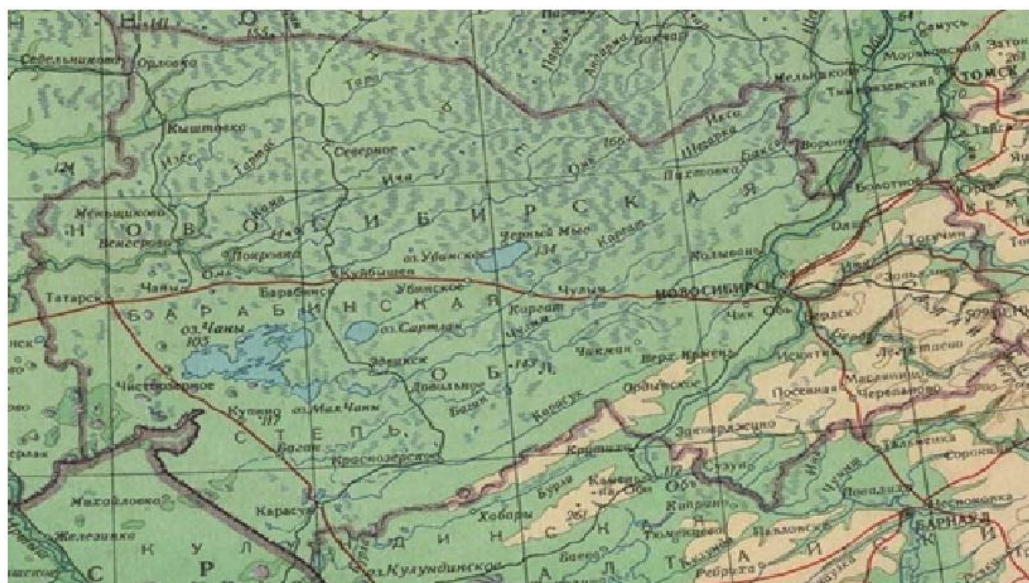


Рисунок 2 - Карта Новосибирской области

Протекающая с севера на юг по территории области р. Обь делит ее на две неравные, но геоморфологически четко различающиеся части – приподнятое и всхолмленное правобережье и левобережную преимущественно равнинную часть. Собственно левобережье Оби, дренируемое ее небольшими левыми притоками, в пределах области невелико, и поэтому левобережьем часто называют всю территорию области, расположенную западнее этой реки, так и к Обь-Иртышскому междуречью и бассейну р. Иртыша.

Территория Новосибирской области отличается сложным геологическим строением. Большая ее часть (левобережье) расположена в пределах древней Западно-Сибирской плиты, покрытой сверху мощной (до 3000 м) толщей континентальных и морских отложений мезокайнозоя. Две обширные впадины древнего фундамента соответствуют современным низменностям:

Барабинской и Кулундинской, разделенным на востоке Приобским плато – одним из крупных разломов земной коры при ее опускании.

По правобережью области с юга на северо-восток тянется Колывань-Томская складчатая зона, сложенная преимущественно гранитами верхнего палеозоя и перекрытая сверху молодыми осадочными породами. С юго-востока к этой зоне примыкают складчато-глыбовые сооружения Салаира и Кузнецкого Алатау. Юго-западная часть их опускается под толщу рыхлых отложений, на северо-западе они выступают на поверхность в виде Салаирского кряжа. Здесь широко распространены вулканические породы, много известняков, песчаников, конгломератов, сланцев, развит карст.

К салаирским структурам с севера примыкает Горловский прогиб, заходящий от восточных границ области дугой на юго-запад. Это понижение земной коры заполнено в основном каменноугольными отложениями. Параллельно Горловскому прогибу вдоль р. Ини тянутся Буготакские сопки, сложенные пологими складками вулканических пород и метаморфических отложений.

На большей части территории высокой структурно-геоморфологической поверхности формы современного рельефа отражают тесную взаимосвязь с плановым положением ведущих структур палеозойского фундамента. Абсолютные отметки колеблются здесь преимущественно в пределах 200-300 м, при максимальной высоте 523 м на Салаирском кряже. Основу рельефа этой части территории составляют разнотипные формы овражно-балочной сети. В составе рельефообразующих пород преобладают лессовидные отложения различного механического состава.

Западная часть Новосибирской области относится к самой низкой структурно-геоморфологической поверхности с абсолютными отметками 90 – 110 м. От средней поверхности она также отделена довольно хорошо выраженным уступом, где высота резко снижается от 125 до 115 м. В пределах этой территории распространены морские фации, а также наиболее глинистые образования континентального олигоцена и неогена.

Основу геоморфологического строения здесь составляют молодые аллювиально-озерные низменные равнины, в пределах которых распространены классические формы гривного рельефа Западно-Сибирской равнины. В строении покровных образований здесь преобладают верхнечетвертичные песчано-глинистые отложения, с увеличением роли песчаных фракций по мере движения с севера на юг.

На западе низменные равнины граничат с областью развития древнеозерных равнин, где широко развиты отложения верхнего миоцена и нижнего плиоцена. В их литологическом составе преобладают глинистые отложения, часто обогащенные известково-мергелистыми конкрециями. Тонкозернистые пески и супеси редко встречаются в виде небольших линз и прослоев мощностью не более 20–30 м. Четвертичные отложения здесь представлены маломощным плащом покровных суглинков мощностью не более 1,5–3,0 м. В геоморфологическом отношении древнеозерные равнины характеризуются широким развитием плоско-западинных форм рельефа.

Новосибирская область расположена в пределах южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна и его восточного палеозойского обрамления. Мощная толща рыхлых отложений этого бассейна включает здесь более десяти водоносных горизонтов, различающихся геологическим возрастом и мощностью водовмещающих пород (от верхнечетвертичных до кембрийских, силурийских и других отложений), их глубина залегания и водообильностью, а так же качеством подземных вод.

В южной части области верхний водоносный горизонт слабо связан с нижележащими, отличается низкой водообильностью и располагается на глубине 6 – 10 м. При движении к северу в зону оптимального и избыточного увлажнения уровни грунтовых вод повышаются до 3 – 6 м и менее, смыкаясь в понижениях рельефа с болотами. Эти воды тесно связаны с нижележащими водоносными горизонтами. Уровень их зависит не только от характера рельефа, но и от расстояния до дренирующей гидрографической сети.

В режиме уровней грунтовых вод четко выражен внутригодовой ход, обусловленный климатическими факторами. Годовая амплитуда колебания уровня изменяется от нескольких дециметров на водоразделах до 2 – 2,5 м в приречных участках. В целом она меньше в зоне недостаточного увлажнения. Фазы уровня режима грунтовых вод обычно хорошо согласуются с режимом рек.

В питании рек и сезонном регулировании стока роль подземных вод в отдельных частях области различна. В наиболее увлажненных северной (бассейн р. Тары) и восточной (бассейн р. Берди) частях области доля подземного стока составляет 20 – 30%, в бассейне р. Оми, а также в районах, прилегающих к р. Оби, она изменяется в пределах 10 – 20%, снижаясь до значений менее 10% в бассейне оз. Чаны и даже 1% на крайнем юго-западе области.

Климат – это режим атмосферных условий, характерный для данного места Земли в силу его географического положения. Основными факторами, способствующими формированию климата, являются солнечная радиация, общая циркуляция атмосферы, характер подстилающей поверхности, влагооборот, термический режим (температура воздуха, почвы) и прочее.

Климат Новосибирской области, обуславливаемый ее положением внутри Азиатского материка и местными особенностями орографии, характеризуется в целом как континентальный. Ярко выраженная континентальность климата характеризуется резкими колебаниями температуры воздуха и атмосферных осадков.

Температура воздуха является одним из наиболее важных элементов климата. Средняя годовая температура воздуха в Новосибирске положительная и составляет 0,2°С (таблица 2).

Таблица 2 - Средняя годовая температура воздуха в Новосибирске

Месяц	t_{cp}	t_1	t_2	t_3	σ	$\pm\sigma_{cp}$
1	2	3	4	5	6	7
I	-18,9	-18,8	-19,1	-19	3,8	3,1
II	-17,2	-18,2	-17,2	-15,8	3,8	2,9
III	-10,6	-13,8	-10,9	-7,4	3,2	2,6
IV	0,6	-2,8	0,6	3,9	2,8	2,4
V	10,2	7,5	10,3	12,5	2	1,6
VI	16,6	14,9	16,8	18,1	1,6	1,3
VII	19	19	19,3	19	1,7	1,3
VIII	16,2	17,9	16,4	14,7	1,3	1
IX	10,3	12,6	10,5	7,9	1,6	1,2
X	1,8	4,8	2	-1,2	2,1	1,5
XI	-8,9	-5,9	-8,8	-12,1	3,6	2,8
XII	-16,7	-15,1	-16,7	-17,9	4,4	3,5
Год	0,2	0,2	0,3	0,2	2,7	2,1

Самым холодным месяцем является январь (минус 18,9°С), но в некоторые годы температура других зимних месяцев оказывается ниже январской.

Средняя изменчивость температуры воздуха в январе, как и во все зимние месяцы, велика. Наибольшие положительные отклонения от нормы, превышающие 8°, наблюдались в 1964 г. Наибольшие отрицательные отклонения минус 11–12°С зарегистрированы в 1900 и 1969 гг. Средняя температура воздуха февраля начинает постепенно повышаться. Положительные и отрицательные отклонения в феврале такие же, как в январе, но в среднем температура февраля на 1,7° выше январской. В январе и феврале устанавливается зимний режим циркуляции. Сильные морозы могут достигать минус 40–50°С. Понижение температуры происходит за счет ночного выхолаживания при ясной погоде в устойчивых антициклонах.

К лету циклоническая деятельность ослабевает. Повышение температуры воздуха в июне замедляется, и в среднем за месяц составляет 16,6°С. Внезапные вторжения арктического воздуха могут вызвать заморозки. Только июль полностью свободен от заморозков. Температура в этом месяце повышается, по сравнению с июнем, на 2,4°С и составляет 19,0°С. Июль – самый теплый месяц в году, но возможны случаи, когда максимальная температура воздуха наблюдается не в июле, а в июне (9% случаев) или в августе (8% случаев). В июле в среднем 27 дней бывает со средней суточной температурой выше 15°С, из них 12 дней – с температурой выше 20°С.

В Новосибирской области амплитуда колебаний средних месячных температур воздуха составляет в пределах области 36–38°, а экстремальных ее значений 85° на западе и юго-западе области и 95° – на востоке [7]. Средняя температура самого холодного месяца, января, составляет минус 19, минус 21°, абсолютный минимум достигает минус 47, минус 55°. Самый теплый месяц – июль, средняя температура воздуха в июле составляет 17–

20°, абсолютный максимум температуры равен 37 – 40°. Более низкие значения температуры воздуха относятся к северным районам области и высокие – к южным. В правобережье на фоне широтной зональности элементов климата в их распределении по территории проявляется и вертикальная поясность, то есть зависимость от высоты местности. Продолжительность теплого периода с температурой воздуха выше 0° в пределах области составляет 185–195 дней и холодного периода 180–190 дней в году.

Характеристикой степени устойчивости погоды может служить многолетнее значение среднемесячных температур (рисунок 4).

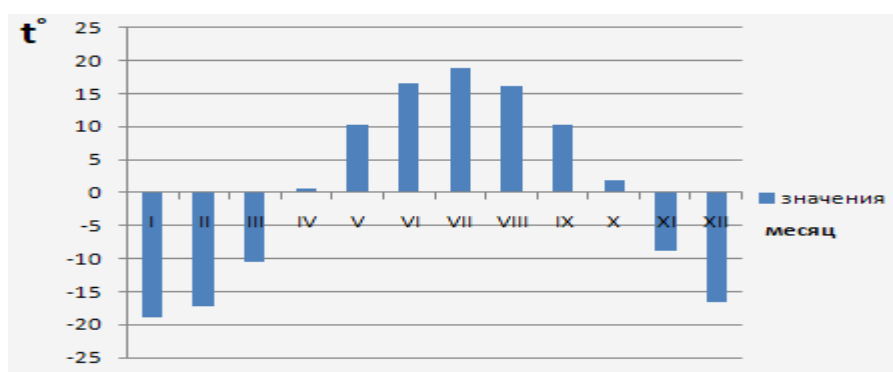


Рисунок 3 - Многолетнее значение среднемесячных температур в г.Новосибирск

Оно зависит главным образом от адвективного фактора. Годовой ход значений температуры повторяет ход суточной амплитуды. В зимние месяцы она достигает наибольших значений и равна 3,7 – 4,9°, летом изменчивость наименьшая 1,8 – 1,9°. В отдельных случаях зимой она достигает +/- 20°, а летом +/- 10 – 14°.

Многолетнее, среднемесячное, сезонное, годовое количество осадков, их распределение по земной поверхности, годовой и суточный ход, повторяемость, интенсивность являются определяющими характеристиками климата, имеющими существенное значение для сельского хозяйства и многих других отраслей народного хозяйства. Для того, чтобы более точно охарактеризовать ситуацию, рассмотрим среднегодовое количество осадков в Новосибирской области (таблица 3).

Таблица 3 – Среднегодовое количество осадков (мм)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
19	14	15	24	36	58	72	66	44	38	32	24	442



Рисунок 4 – Среднегодовое количество осадков

В зависимости от вида осадков год условно делят на два периода: холодный – с ноября по март, когда осадки в основном выпадают в твердом и смешанном состоянии, и теплый – с апреля по октябрь, когда преобладают жидкие осадки. В холодный период выпадает около одной четверти годового количества осадков (95 мм), основное количество их выпадает в теплый период (330 мм). Из общего количества осадков за год

28% приходится на твердые осадки, 63% – на жидкие и 9% – на смешанные (таблица 4).

Таблица 4 – Доля твердых, жидких и смешанных осадков (в %)

Вид осадков	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
твердые	97	91	89	38	4					21	77	90	28
жидкие	•	•	2	28	80	100	100	100	93	40	3	•	63
смешанные	3	9	9	34	16	•			7	39	20	10	9
Среднее число дней с осадками различного вида													
твердые	18,2	13,8	9,8	4,6	0,6				•	5,4	18,4	200	91
жидкие	•	•	•	3,5	8,8	15,7	16,4	17	14,2	6,5	•	•	82
смешанные	•	•	1,5	3,6	2	•			0,9	4,9	2,6	1,2	17

Точка (•) означает, что число дней не превышает 0,1.

Снежный покров оказывает большое влияние на формирование температурного режима в холодный период и имеет большое значение для хозяйственной деятельности города. Время установления первого, еще неустойчивого снежного покрова в Новосибирске приходится в среднем на 16 октября. В зависимости от погодных условий дата появления снежного покрова в отдельные годы значительно колеблется. Отклонения от средней даты могут быть около месяца. При средней дате появления снежного покрова 16 октября в 75% лет снежный покров появляется 25 октября и позднее, а в 5% лет – 5 ноября и ранее. В начале зимы высота снежного покрова невелика (таблица 5).

Таблица 5 – Высота снежного покрова z , плотность снега и запас воды в снеге

X			XI			XII			I			II			III		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Высота по постоянной рейке (см)																	
•	•	1	5	9	12	16	18	21	23	25	27	30	32	32	34	34	30
Высота по снегосъемке (см)																	
		•	9	12	16	17	23	25	26	28	29	32	32	32	32	31	18
Плотность (г/см ³)																	
		•	0,17	0,18	0,2	0,21	0,22	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,26	0,26	0,27	0,3
Запас воды (мм)																	
		•	12	23	30	34	45	49	55	63	69	75	75	79	85	82	42

Таблица 6 - Высота снежного покрова z , плотность снега и запас воды в снеге

IV			V			Наибольшая за зиму		
1	2	3	1	2	3	$z_{\text{ср}}$	$z_{\text{макс}}$	$z_{\text{мин}}$
19	20	21	22	23	24	25	26	27
Высота по постоянной рейке (см)								
18	5	●	●	●		37	60	12
Высота по снегосъемке (см)								
●	●					37	51	23
Плотность (г/см ³)								
						0,25		
Запас воды (мм)								
						91		

Точка (●) означает, что высота снежного покрова меньше 1

В ноябре она не превышает 12 см. Часто выпадение снега задерживается до декабря, а это приводит к тому, что снег выпадает на мерзлую почву. В основном в течение декабря происходит интенсивное накопление снега и быстрый рост его высоты от декады к декаде. Основные запасы снега накапливаются в первой половине зимы. В течение января – февраля полностью устанавливается зимний режим циркуляции.

Количество осадков и распределение их по территории Новосибирской области крайне неравномерно. На юго-западе они составляют 250–300 мм в год, на севере области – 450 мм, в районе Салаирского кряжа – до 500 мм и выше. В распределении атмосферных осадков влияние рельефа проявляется и в левобережной части области, где даже небольшие повышения местности (Бакчарская возвышенность в верховьях р. Оми, Приобское плато) характеризуются относительно большей величиной осадков.

В отдельные годы количество осадков значительно отклоняется от средних значений и колеблется от 150–500 мм на юго-западе до 300–700

мм на севере и востоке области. Наибольшее количество осадков выпадает обычно в июле (60–80 мм, в юго-восточной части 50–60 мм). На зимний период (ноябрь – март) приходится 17–20% годовой суммы осадков. Снежный покров на территории формируется постепенно, в конце октября – начале ноября. В первой половине зимы снега еще мало, с января высота его значительно увеличивается и достигает максимальных значений в степных открытых районах 35–55 см, на защищенных участках на 10–20 см выше. Наибольшие запасы воды в снеге составляют 100–130 мм.

По характерным сочетаниям увлажнения и теплообеспеченности подстилающей поверхности, которые обуславливают определенные

взаимосвязанные типы растительного и почвенного покрова в различные годы, В. С. Мезенцевым и И. В. Карнацевичем [8] выделяются в пределах области четыре гидроклиматические зоны (рисунок 5).

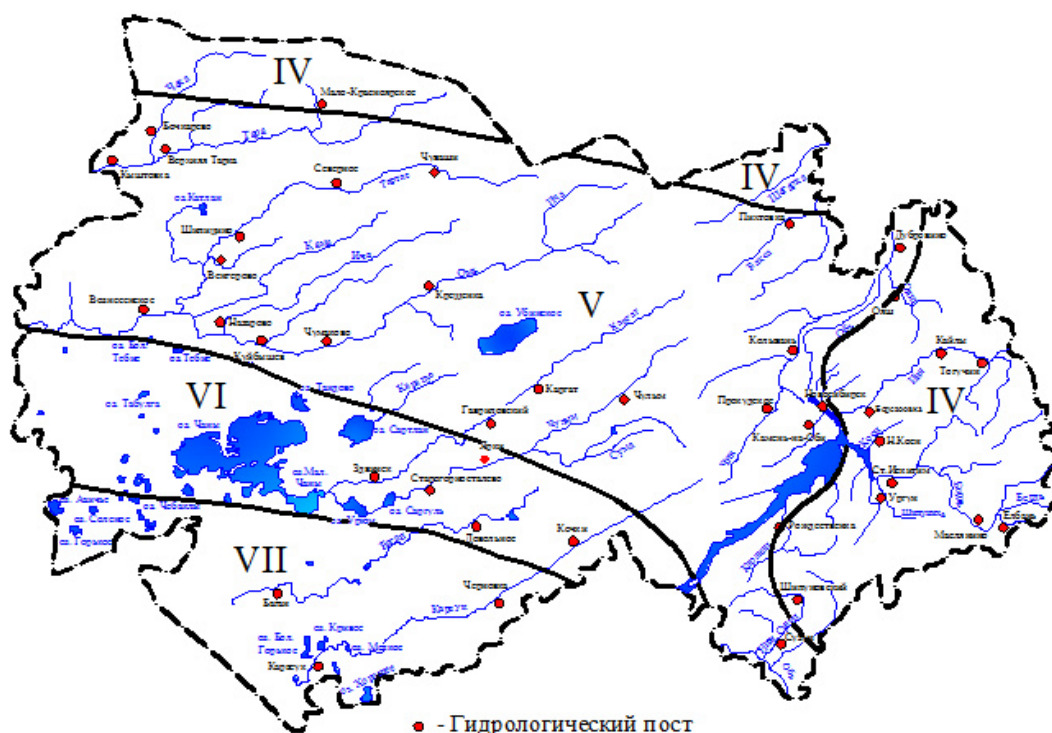


Рисунок 5 – Схема гидрологических районов Новосибирской области.

Зона IV характеризуется оптимальным сочетанием тепла и влаги в средний и сухой годы и избыточным увлажнением во влажный год повторяемостью один раз в пять лет. Зона V отличается оптимальным увлажнением во влажный год, достаточным – в средний год и недостаточном – в сухой год повторяемостью один раз в пять лет. Теплообеспеченность зоны достаточная. Зона VI оптимально увлажнена только во влажные годы повторяемостью один раз в пять лет. В средние и сухие годы увлажнение ее недостаточно. Теплообеспеченность зоны достаточная. Зона VI занимает районы с недостаточным увлажнением во влажные годы повторяемостью один раз в пять лет и весьма недостаточным – в средние и сухие годы. Теплообеспеченность зоны достаточная.

Таким образом, практически вся территория Новосибирской области достаточно обеспечена теплом. Что же касается увлажнения, то величина атмосферных осадков во многих районах для развития сельского хозяйства часто недостаточна. При этом дефицит влаги резко увеличивается в южных районах области

Почвенный покров области разнообразен и сложен по своему строению и составу. Распространение почв подчинено широтной зональности на всей территории и вертикальной поясности – в районе Салаирского кряжа.

На севере области, в заболоченной подтаежной зоне, распространены дерново-подзолистые почвы, но чаще всего подзолисто-глеевые и луговые. Болотные почвы занимают господствующее положение. В бассейне Тары, например, они занимают 70% площади. В Центральной Барабе, изобилующей многими реками, озерами и болотами, около четверти территории занимают болотные почвы и почти столько же – засоленные почвы и солонцы. Пахотнопригодные земли, представленные черноземами, а также солонцеватыми и осолоделыми почвами, занимают лишь 20% площади.

В южной части Барабы по гривам и различным повышениям располагаются лучшие пахотные земли района. В основном это различные подтипы южных и обыкновенных черноземов. Почвы межгривных понижений обычно засолены [9].

Районы, прилегающие к Оби, характеризуются довольно пестрым почвенным покровом. В долинах рек распространены песчаные и супесчаные почвы. Часто встречаются черноземы выщелоченные, лугово-черноземные почвы, серые лесные почвы, дерново-подзолистые. Изредка встречаются осолоделые почвы, солоди, солонцы или болотные почвы. Черноземы к северу переходят в лугово-черноземные и оподзоленные почвы.

В Присалаирье распространены серые лесные почвы, черноземы, дерново-подзолистые, лугово-черноземные и луговые.

Растительный покров области также разнообразен, в нем насчитывается до 2000 видов растений, в числе которых более 20 видов деревьев и свыше 50 кустарников.

На севере территории, наиболее дренированные участки заняты лесами из кедра, ели, пихты. К сравнительно сухим участкам приурочены также березовые леса или осиново-березовые травяные леса. Болота занимают здесь более 60% площади. Распространены моховые и осоковые водораздельные болота, сфагновые, осоко-гипновые, гипновые – открытые или облесенные, а также карагайники – чередующиеся участки облесенных и открытых болот. В Барабинской лесостепи также много болот – осоковых, тростниковых, вейниковых. Распространены березовые и осиновые колки. На юге Барабы и в Кулундинской степи растительность представлена разнотравно-типчачковыми и типчачково-ковыльными степями. Распространены голофиты, полукустарниковые солянки. Территория этой части области наиболее распахана (до 60%) и значительно подвержена ветровой эрозии. В лесостепи Приобья земли также значительно распаханы. В разнотравно-луговой растительности много злаков: ковыль,

мятлик, тимофеевка и другие. По долинам Оби, Ини, Берди и древним ложбинам стока на песчаных и супесчаных почвах распространены сосновые леса, а верхние части склонов и водоразделы заняты осиновыми и березовыми лесами. На юго-востоке области отроги Салаира покрыты пихтово-осиновой тайгой. Сельскохозяйственными угодьями в области занято 8,6 млн. га (4,8%), из них под пашней 4,0, сенокосами 2,4 и пастбищами 2,2 млн. га [7].

По гидрографическому признаку Новосибирская область делится на три части: восточную, непосредственно относящуюся к системе р. Оби, северо-западную, принадлежащую к системе Иртыша (бассейны рек Оми и Тары), а также центральную и южную группу районов, расположенную в бессточной зоне, или точнее, в зоне замкнутого стока Обь-Иртышского междуречья. Так же на данном рисунке показаны расположения действующих постов, рассматриваемых в дипломной работе.

Речная сеть в пределах области в зависимости от климатических и других природных факторов, развита неравномерно. Общее число рек, длина которых превышает 10км, составляет 430. Более 100 км имеет протяженность 21 река [10].

С севера на юг восточную часть области четырехсоткилометровой полосой прорезает река Обь. Долина Оби, ширина которой достигает здесь 20км и более, представляет особый элемент ландшафта, имеющий своеобразные почвенно-климатические и другие природные особенности. Основную часть долины занимает двухступенчатая пойма, расчлененная многочисленными старицами. В долине четко выделяются три надпойменные террасы, и местами менее ясно выраженные – четвертая и пятая. Русло Оби, сложенное преимущественно рыхлыми аллювиальными отложениями, отличается сильной деформацией, изобилует многочисленными островами и отмелями.

В 1950 г. на реке Оби выше Новосибирска началось строительство гидроэлектростанции. В ноябре 1956г. река была перекрыта плотиной,

весной 1957г. началось заполнение водой нового водохранилища, достигшего проектной отметки к июню 1959г [11]. После сооружения Новосибирской ГЭС в пределах

Новосибирской области на Оби выделилось три участка. Верхний сравнительно небольшой участок от южной границы области до города Камень-на-Оби. Река течет здесь в северо-западном направлении, имеет широкую левобережную пойму и сильно разветвленное русло. Второй средний участок Оби до Новосибирска представлен водохранилищем Новосибирской ГЭС и третий –

р. Обь от плотины ГЭС до северной границы области также характеризующаяся широким разветвленным руслом и обширной левобережной поймой.

Речная сеть правобережья является самой развитой в области. Густота ее достигает 130 м/км^2 . Реки протекают здесь по пересеченной местности и имеют значительные уклоны и скорости. Из рек, впадающих на участке Оби выше водохранилища, выделяется Нижний Сузун, в водохранилище впадают река Бердь и более мелкие реки (Каракан и другие). Длина Берди составляет 400 км, ее притоки - Суенга, Ик, Чем носят горный характер. К предгорным рекам относятся Елбаш, Чесноковка, Тальменка, Елбань, Укроп, Шипуниха, Койониха и другие. Ниже водохранилища в Обь впадает другой крупный приток Оби - р. Иня. Длина ее составляет 800 км, из них около 300 км в пределах Новосибирской области. Основные притоки Ини: Тарсьма, Кайлы, Порос, Лебязья, Ояш и другие.

Питание рек происходит поверхностными и подземными водами. Роль и количество воды, которое получают реки от того или иного вида питания, различны для разных рек и меняются по сезонам года. Эти различия зависят в основном от климатических условий данного района – режима осадков и температуры воздуха в течение года.

Питание рек поверхностными водами подразделяют на следующие виды: дождевое, снеговое, ледниковое и смешанное.

Дождевое питание характеризуется слоем выпавших осадков (мм), продолжительностью, интенсивностью выпадения, и площадью распространения.

Дождевые осадки не полностью поступают в реку, часть из них теряется на испарение и впитывание в землю. На величину поверхностного питания реки от дождей влияет интенсивность, продолжительность и частота выпадения осадков, водопроницаемость грунтов, слагающих бассейн, растительный покров, размеры речного бассейна и рельеф его склонов.

Снеговое питание характеризуется толщиной снежного покрова и его плотностью. Снег, в зависимости от толщины снежного покрова и плотности, может при таянии привести к увеличению слоя воды.

Следует различать процессы снеготаяния и водоотдачи снежного покрова, то есть поступление не удерживаемой снегом воды на поверхность почвы. Снеготаяние начинается после достижения температуры воздуха положительных значений и возникновения положительного теплового баланса на поверхности снега.

Ледниковое питание имеют реки, вытекающие из районов с высокогорными ледниками и снежниками. Вклад ледникового питания в речной сток тем больше, чем больше доля площади бассейна занятая ледником.

Смешанное питание рек является самым распространенным и обусловлено участие различных видов питания реки в течение года.

Питание рек подземными водами определяется характером взаимодействия грунтовых и речных вод, либо осуществляется непосредственным выходом грунтовых вод в речное русло. Доля подземного питания рек колеблется в значительных пределах – от 0 до 40%, иногда до 60% общего годового питания рек. Запасы подземных вод

пополняются в основном весной в результате просачивания талых вод, а так же частично и осенью от выпадающих дождей.

В годовом цикле колебания стока рек различают следующие основные фазы водного режима: половодье, паводок, межень. Продолжительность и характерные особенности этих фаз определяются изменением питания рек в течение года, которое в свою очередь зависит от климатических условий речного бассейна.

Половодье – эта фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях, в один и тот же сезон и характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и продолжительным подъемом уровня воды. Половодье формируется как талыми снегами, так и дождевыми водами. Отсюда выделяют следующие виды половодья:

1. весеннее половодье – образуется в результате таяния снега, накопленного за зиму в бассейне реки. Оно представляет собой основную фазу водного режима для рек преимущественно снегового типа питания. Продолжительность подъема и спада зависит от размеров площади водосбора, уклона местности, развития речной сети, запасов снега и интенсивности снеготаяния.

2. летнее половодье – характерно для рек муссонного климата. В результате длительных дождей возникают большие наводнения.

Паводки – это фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года и характеризуется интенсивным обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепели. Здесь выделяют осенние дождевые паводки, которые вызываются обложными дождями.

Такие паводки ежегодно имеют место на реках Западной и Восточной Сибири, Русской равнины и в других районах.

Межень – это фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в один и тот же сезон и характеризующаяся малой водностью и длительным стоянием низкого уровня. В межень реки обычно питаются только за счет

подземных вод. На многих реках выделяют два периода пониженного стока:

1. летняя межень – наступает после половодья и заканчивается осенью. Источниками питания рек являются подземные воды и дожди

2. зимняя межень – характеризуется пониженным стоком, а на равнинных реках совпадает с периодом ледостава. В этот период основным источником питания рек являются подземные воды. В теплые зимы во время оттепелей может быть дополнительное поверхностное питание за счет талых вод.

Наглядное представление о ходе колебаний расходов воды в течение года дает хронологический график, носящий название гидрограф стока. Площадь, ограниченная линией гидрографа и осями координат, соответствует объему воды, протекающему для определенного пункта в течение года [13].

Определение доли различных источников питания рек производится путем расчленения гидрографа стока. Сведения по ряду характерных рек области приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Основные источники питания рек

Река - пункт	Площадь водосбора, км ²	Доля стока в % от годового		
		снегового	дождевого	грунтового
1	2	3	4	5
р. Нижний Сузун - пос. Октяб.	1140	47	29	24
р. Бердь - пгт. Маслянино	2480	69	10	21
р. Кoen - с. Нижний Кoen	270	52	26	12
р.Иня - д. Кайлы	15700	72	7	21
р.Иня - д. Усть-	12000	65	15	20

Сосновка				
р. Каргат - пос. Гавриловский	3910	68	16	16
р. Тартас - с. Венгерово	16200	62	11	27
р. Тартас - с. Северное	5480	70	10	20

3.2 Учет нормы и изменчивости годового стока

Нормой годового стока называется его средняя величина за многолетний период с неизменными ландшафтными географическими условиями, относящимися к современной геологической эпохе, и с одинаковым уровнем хозяйственного освоения реки. Многолетний ряд наблюдений, по которому определяется норма стока, должен включать несколько (не менее двух) полных циклов колебаний водности реки.

Важность значения нормы годового стока заключается в том, что она является основной и устойчивой характеристикой водных ресурсов данного речного бассейна или района.

Устойчивость нормы годового стока определяется двумя условиями:

1. как средняя многолетняя величина она мало или почти не изменится, если к многолетнему ряду будет прибавлено еще несколько лет наблюдений;

2. является функцией главным образом климатических факторов – осадков и испарения и притом их средних многолетних величин, которые в свою очередь являются устойчивыми климатическими характеристиками района или бассейна.

Норма годового стока может выражаться в виде: среднего годового расхода воды Q_0 в м³/с; среднего годового объема стока W_0 в м³; среднего годового модуля стока M_0 в л/сек с 1 км²; среднего годового слоя h_0 в мм, отнесенного к площади водосбора.

В данном разделе параметры годового стока по рассматриваемым 33 рекам уточнены, даны более детально схемы карт изолиний норм годового стока и коэффициентов их изменчивости, уточнены рекомендации по расчету стока неизученных рек.

Норма годового стока как всякая средняя арифметическая величина статистического ряда, может быть определена по формуле:

$$Q_0 = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n}, \text{ м}^3/\text{с}$$

Q_0 – норма годового стока;

Q_1, Q_2, Q_n – годовые величины стока за период наблюдений;

n – число лет наблюдений.

Для характеристики среднего годового стока использовались данные наблюдений за расходами воды по 20 пунктам Западно-Сибирского УГМС (управление гидрометеорологической службы). Как следует из указанной таблицы, большинство пунктов наблюдений за стоком расположено на средних реках. Наблюдения на реках с площадью водосбора менее 100 км² отсутствуют.

Точность определения среднего многолетнего стока (нормы) по фактическому ряду характеризуется средней квадратической ошибкой:

$$\sigma_Q = \pm \frac{100 * C_v}{\sqrt{n}}, \%$$

C_v - коэффициент вариации;

n - число лет наблюдений.

Распределение значений этой ошибки, в зависимости от продолжительности наблюдений, приведено в таблице 7. Как видно из приведенной таблицы, некоторые пункты имеют среднюю квадратическую ошибку вычисления нормы годового стока меньше 10%.

Таблица 7 - Распределение значений средней квадратической ошибки вычисления нормы годового стока

Число лет	Число пунктов со средней квадратической ошибкой в %					
	≤5	6 – 10	11 – 15	16 – 20	21 – 30	всего
1	2	3	4	5	6	7

20 – 30	1	2	2	2	–	7
31 – 50	3	5	3	–	–	12
51 – 70	3	6	3	–	1	13
71 – 110	2	–	–	–	–	2
всего пунктов	9	13	8	2	1	33
%	29,4	38,2	23,5	5,9	3	100

Одна из реальных возможностей предварительной оценки предстоящей водности рек – анализ и учет крупных (вековых и внутривековых) циклов ее колебаний. Выявление вековых циклов колебаний стока рек имеет большое значение, так как должный учет их существенным образом может повлиять на размещение и сроки строительства новых гидротехнических сооружений, сельскохозяйственных, водохозяйственных и других объектов страны. Действительно, если бы было известно, что в одних районах в течение ближайших 30 - 40 лет будут преобладать маловодные годы, а в других - многоводные, то строительство ГЭС в начале этого периода при прочих равных условиях должно было бы развиваться преимущественно в последних, а в конце периода - в первых районах. Если в одних районах этот период времени ожидался бы с относительно малым количеством осадков и частыми засухами, а в других - с достаточным или даже часто излишним увлажнением, то характер планируемых водных и иных мелиораций сельскохозяйственных угодий в них должен быть существенно различным. Аналогичные различия должны были бы быть в развитии рыбного хозяйства, водного транспорта, рекреационных и экологических систем, крупных природных комплексов, территориального перераспределения речного стока, размещения водоемких и загрязняющих реки и водоемы предприятия различных отраслей промышленности.

Иными словами, надежное установление и учет вековых колебаний стока рек - одно из важных мероприятий повышения эффективности

целого ряда отраслей народного хозяйства в конкретной ограниченной перспективе. Этим определяется и актуальность самой проблемы выявления названных циклов, соответствующих закономерностей их чередования во времени и по территории, причин возникновения.

В настоящее время не вызывает сомнения реальность внутривековых, вековых и сверхвековых циклов, хотя их параметры и природа еще далеко не выяснены. В большей степени пока изучены внутривековые и вековые циклы, что объясняется в значительной мере отсутствием материалов длительных натуральных наблюдений.

Наиболее распространенным, удобным и наглядным приемом выявления крупных циклов является соответствующий анализ разностных интегральных кривых годового объема стока (рисунок 6). Как видно из рисунка колебания большинства рек синхронно.

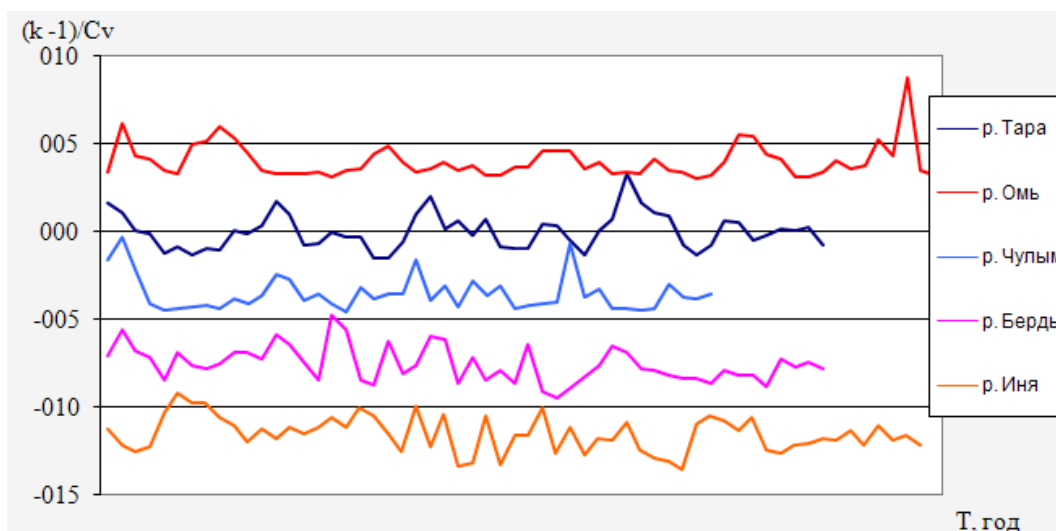


Рисунок 6 – Кривые годового объема стока

Наименьший годовой сток в пределах рассматриваемой территории наблюдается на юго-запада, где его модули составляют $0,25 - 0,50 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Это объясняется недостаточностью увлажнения и большими потерями атмосферных осадков на испарение. Коэффициент испарения достигает здесь 0,9. По мере продвижения к северу и к северо-востоку, т. е. в более

увлажненные районы, годовой сток увеличивается до 1 – 3 л/с·км². На востоке области в зависимости от высоты местности и особенностей орографии норма годового стока изменяется от 3 до 9 л/с·км².

При анализе связей модулей годового стока рек со средней высотой водосборов построены графики для правобережья реки Обь, бассейна реки Омь, для бассейна реки Иня и рек Шипуниха, Чик, для бассейнов рек Бердь, Каргат и рек Елбань, Кoen, Ояш. По данным графикам, как и по построенным картам, можно определять норму годового стока для различных рек. Кроме этого были построены и другие графики связи, по которым так же можно определить норму годового стока, но для залесенных территорий.

Годовой сток рек Новосибирской области подвержен довольно сильной многолетней изменчивости. Наиболее высокая водность рек за период наблюдений отмечена в 1947 – 1949 и 1960 годах. Кроме того, для Левобережья многоводным был 1971 год, а для Правобережья 1957 год. Наименьшая водность рек всей территории была в 1952, 1967 и 1968 годах. Коэффициенты изменчивости годового стока C_v , исходя из лучшего соответствия теоретической кривой обеспеченности эмпирическим точкам, вычислялись методом моментов.

Коэффициент вариации, или изменчивости C_v , годового стока служит мерой оценки колебания годовых величин стока относительно его нормы. Он служит для сравнения отдельных статистических рядов, например годовых величин стока разных рек, в отношении их изменчивости или рассеяния точек на кривой. При наличии длительных наблюдений предусматриваются два метода определения C_v в зависимости от изменчивости годового стока [14, 15, 17].

Если изменчивость годового стока невелика и характеризуется коэффициентом вариации $C_v \leq 0,50$, рекомендуется следующая формула:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n}}$$

k_i – модульный коэффициент стока каждого года;

n – число лет наблюдений (число членов статистического ряда).

$$k_i = \frac{Q_i}{Q_0}$$

Q_i – расход воды за год, м³/с;

Q_0 – средний расход воды за весь период наблюдений м³/с.

При $n < 20$ формула используется в виде:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}}$$

Коэффициент асимметрии C_s характеризует несимметричность ряда величин стока относительно его среднего значения. Это менее устойчивый параметр кривой распределения или обеспеченности, а для надежного его определения требуется ряд наблюдений над стоком более 100 – 150 лет. По имеющимся рядам наблюдений можно установить лишь приближенное значение коэффициента асимметрии. Для этой цели используется формула:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n-1) \cdot C_v^3}$$

Формула представляет собой выражение второго момента площади кривой распределения относительно центральной ординаты, а метод определения

C_v и C_s по формулам и называется методом моментов.

При наличии достаточно длинного ряда наблюдений (более 30 – 40 лет) величина C_s может быть установлена путем последовательного подбора его значений, исходя из условий наилучшего соответствия эмпирическим точкам принятой теоретической кривой обеспеченности, ординаты которой вычислены при одном из заданных значений C_s/C_v .

Эмпирическую ежегодную вероятность превышения (P) гидрологических характеристик определяют по формуле:

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

m – порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики;

n – общее число членов ряда.

По данным свода правил [16] предлагается новая формула для определения коэффициента асимметрии:

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (k_i - 1)^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot C_v^3}$$

Для коэффициента вариации используется формула

По полученным данным видно, что значения коэффициента асимметрии, посчитанные по двум разным формулам отличаются незначительно.

Зависимость коэффициентов изменчивости от климатических факторов

позволила построить карту, в основу построения которой положены значения C_v по 33 пунктам, отнесенные к центрам водосборов. Точность определения коэффициента изменчивости по приведенной карте в среднем составляет около 10% (таблица 8).

Таблица 8 – Отклонение величин коэффициента изменчивости годового стока, определенных по карте, от вычисленных по рядам фактических наблюдений

Площадь водосбора	Общее количество пунктов	Количество пунктов с отклонениями, %			
		до 10	11 – 25	26 – 40	> 40
1	2	3	4	5	6
100 – 500	3	–	–	2	1
500 – 1000	2	–	–	2	–
> 1000	16	10	11	2	5
Итого	20	10	11	6	6

Коэффициенты изменчивости годового стока рек колеблются по территории области в пределах 0,2 – 1,55. Для сравнения с данной картой так же предложена карта из СНиПа 2.01.14 – 83, который прилагается к справочной литературе [14]. При сравнении этих карт видно, что карта, предложенная в данной дипломной работе, более полно отражает изменение годового стока по территории области. А так же для составления этой карты были пересчитаны (для всех 20 пунктов) коэффициенты изменчивости по новым формулам [14, 15].

Исходя из полученных значений параметров кривой обеспеченности норма стока, C_v и C_s , произведен расчет годового стока изученных рек обеспеченностью 1, 5, 10, 25, 50, 75, 80, 90, 95, 97 и 99% по формуле:

$$P_{i\%} = K_p \cdot M_0, \%$$

K_p – модульный коэффициент, обеспеченностью $P\%$

M_0 – средней многолетний модуль стока, л/с·км²

$$K_p = 1 + \Phi_p \cdot C_v$$

Φ_p – относительные отклонения ординат биномиальной кривой обеспеченности от середины (единицы) при $C_v = 1$. Значения Φ_p принимаются по таблице из справочной литературы [15] при найденном значении C_s .

Указанные расчетные величины приведены в таблице 9.

Таблица 9 - распределение средней квадратической ошибки вычисления нормы годового стока

Число лет	Число пунктов со средней квадратической ошибкой в %					
	≤5	6 – 10	11 – 15	16 – 20	21 – 30	всего
1	2	3	4	5	6	7
20 – 30	1	2	2	2	–	7
31 – 50	3	5	3	–	–	11
51 – 70	3	6	3	–	1	13
71 – 110	2	–	–	–	–	2
всего пунктов	7	9	5	2	1	20
%	27,3	39,4	24,2	6,1	3,0	100

При отсутствии материалов наблюдений расчет нормы годового стока рек области рекомендуется производить тремя способами:

1. по аналогии с соседними изученными реками или участками рек;
2. по карте среднего годового стока;

3. по графикам связи годового стока со средней высотой их водосборов.

По карте норма стока определяется для центра водосбора неизученной реки путем прямолинейной интерполяции между изолиниями стока. В случае пересечения водосбора реки несколькими изолиниями эта характеристика вычисляется как средневзвешенное значение величин стока с площадей, ограниченных соседними изолиниями.

В лесной зоне карта среднего годового стока применима для всех площадей водосбора за исключением водотоков с площадями водосборов менее 10 км².

Коэффициенты изменчивости годового стока неизученных рек наряду с методом гидрологической аналогии рекомендуется определять по карте (рисунок 7), построенной без ограничения площадей и обеспечивающей точность в среднем около 10%. Коэффициент асимметрии годового стока рекомендуется определять по аналогии с изученными реками, а при отсутствии аналога принимать по соотношению $C_s = 2C_v$.

Приведенные данные позволяют с той или иной точностью определить величину годового стока или водные ресурсы любой из рек области.

Эти же данные позволяют произвести оценку водных ресурсов исследуемой территории в объемном выражении.

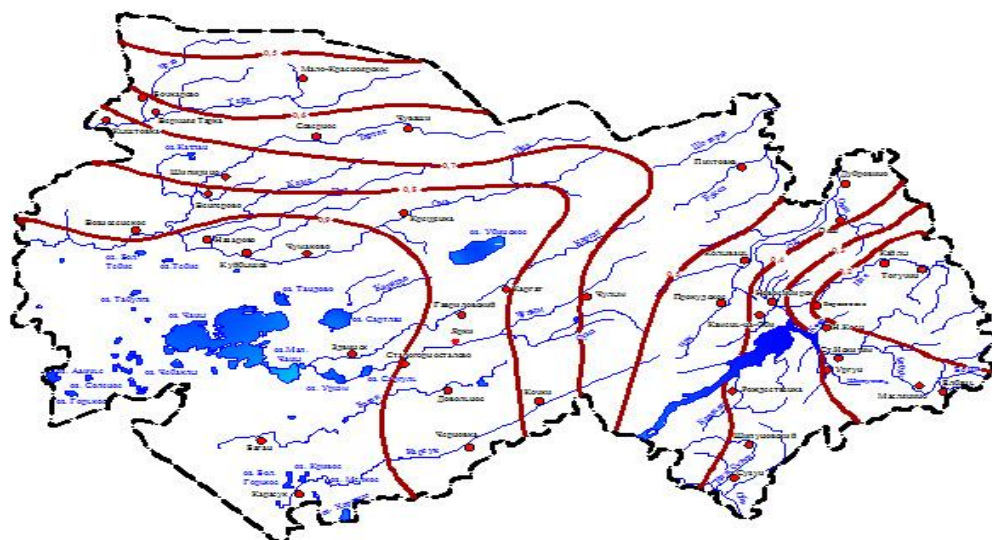


Рисунок 7 – Коэффициенты изменчивости годового стока

3.3 Учет внутригодового распределения стока

Расчет распределения стока по месяцам и сезонам для всех изученных рек при периоде наблюдений 10 лет и более произведен по методу В. Г. Андреенова. В соответствии с принятой методикой расчет распределения стока в году произведен отдельно: для сезонов, так как сезонное распределение зависит, как правило, от водности года, и по месяцам внутри сезонов, так как последнее зависит от водности сезона. Расчет характеристик внутригодового распределения стока производился по водохозяйственным годам, начинающимся с многоводного сезона.

Календарные сроки сезонов при расчетах внутригодового распределения стока приняты едиными для всех лет и общими для всех водных объектов области с округлением до целого месяца. Исходя из этого выделены следующие три сезона: весна (апрель – июнь), лето – осень (июль – ноябрь), зима (декабрь – март). За лимитирующий (меженный) период по всем рекам приняты оба маловодных сезона (лето – осень и зима), а за лимитирующий сезон – зима, как наиболее маловодный из двух сезонов. Постоянство принятых границ сезонов, как во времени, так и в пространстве, упрощает статистическую обработку характеристик сезонного стока различных гидрологических районов. Значения сезонного стока рассчитаны по 20 пунктам с периодом наблюдений 25 лет и более.

В качестве средних многолетних значений сезонного стока приняты их относительные (в % от годового) величины, полученные в основном за период фактических наблюдений, а переход к абсолютным величинам (мм) осуществлен при помощи соответствующих значений годового стока. Определение параметров кривых обеспеченности (C_v и C_s) произведено графоаналитическими способами при ряде наблюдений 10 лет и более.

На всех реках области распределение сезонного стока зависит от водности года. С увеличением водности доля стока маловодных сезонов в

годовом, как правило, увеличивается, и сток по сезонам распределяется более равномерно.

В зависимости от условий формирования гидрологического режима отдельных рек, определяющих различную степень их естественной зарегулированности, внутригодовое распределение стока в пределах области отличается довольно значительным разнообразием.

Для расчета внутрисезонного распределения стока составляются таблицы для всех пунктов наблюдений, в которых выделены три группы водности сезонов (многоводная, средняя, маловодная) по одинаковому числу лет. Для каждой группы водности располагают величины месячных расходов внутри каждого сезона (в том числе отдельно внутри лета и осени) в порядке убывания. Путем деления итоговых величин $Q_{\text{мес}}$ за каждый месяц на соответствующую итоговую величину за весь сезон находим осредненное процентное распределение стока по месяцам сезона для каждой из трех групп водности.

3.4 Учет максимального стока весеннего половодья

Максимальные расходы весеннего половодья на реках области обычно проходят в апреле – мае и только в некоторых случаях наблюдаются отклонения от указанных сроков. Так, например, на крупных реках Барабинской лесостепи (реки Омь, Тартас), отличающихся большой естественной зарегулированностью стока и более распластанной формой половодья, прохождение максимумов наблюдается в отдельные годы в середине июня.

Определение максимальных расходов воды и слоя весеннего стока заданной расчетной обеспеченности при наличии рядов наблюдений достаточной продолжительности произведено по теоретическим кривым. Параметры этих кривых определены методом моментов [18].

Объем весеннего половодья принят суммарным с включением грунтового и частично дождевого стока на спаде половодья. При определении слоя стока за начало половодья принимался первый день с заметным увеличением расхода воды, а за окончание – день в конце кривой спада. Определение конца половодья в ряде случаев выполнялось приближенно, поскольку на гидрографе дождевой сток в конце половодья часто затруднительно отделить от весеннего.

Особенности распределения средних значений весеннего стока на территории области определяются преимущественно условиями снегонакопления и различными потерями талых вод. Снегозапасы плавно увеличиваются к северу и юго-востоку. В этом же направлении растет и слой стока. Необходимо отметить, что, несмотря на незначительную величину снегозапасов (25-30% годового количества осадков), основная масса стока рек формируется талыми водами, которые дают 70-87% объема годового стока.

Для проведения изолиний среднего слоя весеннего стока в восточной части области, где территория более возвышена, использовалась зависимость этого стока от высоты водосбора. Несмотря на небольшой диапазон высот, сток рек предгорной зоны Правобережья с увеличением высоты заметно возрастает. Очевидно, здесь влияние высоты водосбора вместе с увеличением осадков проявляется за счет возрастания уклонов и густоты гидрографической сети, то есть улучшения условий стока.

Наряду со значительными изменениями по территории весенний сток рек области отличается большими колебаниями во времени. Коэффициент вариации слоя стока весеннего половодья колеблется от 0,3 – 0,5 на востоке территории до 0,9 – 1,0 на юго-западе. Такие высокие значения коэффициентов вариации обуславливаются большой изменчивостью во времени основных факторов формирования весеннего половодья, в первую очередь, потерь талых вод на инфильтрацию и аккумуляцию. В

маловодные годы многочисленные понижения рельефа области замкнутого стока выпадают из водосбора рек, уменьшая тем самым приток воды в речную сеть. В многоводные же годы болота, озера и западины переполняются водой, ранее бессточные озера становятся сточными, водосборная площадь рек резко возрастает, что увеличивает приток воды в реки. Таким образом, плоский рельеф местности с большим числом замкнутых понижений оказывает существенное влияние на колебания весеннего стока. Определенное влияние оказывают и временные земляные плотины. Как правило, они быстро размываются весенними водами и существенно не искажают максимальный сток. Однако в маловодные годы разрушение плотин не происходит, тем самым и без того небольшой сток задерживается в искусственных водоемах и становится катастрофически малым. С учетом зонального изменения коэффициента вариации (C_v) по территории и отсутствия редукции C_v от площади составлена карта коэффициента вариации слоя весеннего стока.

$$C_v = 2.18 - 0.83 \lg(h+1) \quad ($$

Коэффициент вариации максимальных расходов половодья близок к C_v слоя весеннего стока.

Для расчета среднего многолетнего слоя стока следует пользоваться приведенной картой. Кроме карты среднего многолетнего слоя весеннего половодья составлена карта слоя стока за половодье 1%-ной обеспеченности, по которой можно получить непосредственно расчетное значение $h_{1\%}$ малоизученных и неизученных рек.

Для расчета максимальных расходов воды весеннего половодья по неизученным рекам рекомендуется эмпирическая редукционная формула вида

$$Q_p = q_p * F = \frac{K_0 * h_p * \mu}{(F + 1)^n} \cdot \delta \cdot \delta_2 \cdot F, \text{ м}^3/\text{с}$$

Q_p - расчетный максимальный расход воды вероятностью превышения $P\%$, $\text{м}^3/\text{с}$;

q_p - расчетный максимальный модуль стока вероятностью превышения $P\%$, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$;

h_p - слой суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания) той же вероятности превышения, мм;

F - площадь водосбора до расчетного створа, км^2 ;

K_0 - параметр, характеризующий дружность половодья на малых реках;

n - показатель степени редукции отношения q_p/h_p в зависимости от площади водосбора;

δ - коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды рек, зарегулированных озерами (δ_1) и водохранилищами (δ);

δ_2 - коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в

залесенных и заболоченных бассейнах;

μ - коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды.

Для определения показателя степени редукции формулы построена зависимость $q_{1\%}/h_{1\%}=f(F)$. Показатель степени редукции n определяется как тангенс угла наклона связи $q_{1\%}/h_{1\%}=f(F)$, построенной в логарифмических координатах при постоянной величине коэффициентов δ , δ_2 и μ . Так как в основу расчета положены слой стока и максимальные расходы 1%-ной обеспеченности, то коэффициент μ для них равен единице. Коэффициент зарегулированности стока озерами δ для большинства рек принят равным единице, так как озерность водосборов часто не превышает 1%. Таким образом, при проведении линии на верхнем графике рисунка 4.8 необходимо учесть лишь постоянство параметра δ_2 , который определяется по формуле:

$$\delta_2 = 1 - 0,8 \lg(0,05 f_{\text{л}} + 0,1 f_{\text{б}} + 1)$$

$f_{\text{л}}$ - степень залесенности бассейна, %;

$f_{\text{б}}$ - степень заболоченности бассейна, %.

Для этого на график связи $q_{1\%}/h_{1\%}=f(F)$ были нанесены лишь данные по рекам с относительно небольшим диапазоном коэффициента $f_{\text{л}}$ от 0,25 до 0,35 [19]. Тангенс угла наклона этой связи, или показатель редукции n , равен 0,26. Коэффициент дружности половодья K_0 вычисляется для каждого створа по формуле:

$$K_0 = \frac{q_{1\%}}{h_{1\%}} (F + 1)^{0,26}$$

Для рек, зарегулированных проточными озерами, коэффициент δ определяется по формуле:

$$\delta = \frac{1}{1 + c * f'_{\text{оз}}}$$

где $f'_{\text{оз}}$ - средневзвешенный коэффициент озерности, равный

$$f'_{\text{оз}} = \sum_{i=1}^n (100 * \frac{S_i * f_i}{F^2}) \%$$

где F - площадь водосбора в расчетном створе реки, км²;

S_i - площадь зеркала озера, км²;

F_i - площадь водосбора озера, км²;

c - параметр, величина которого зависит от среднего слоя половодья и в соответствии с [18] при значениях $h \geq 100$ мм, $100 \div 50$ мм, $50 \div 20$ мм и >20 мм соответственно равна 0,2; $0,2 \div 0,3$; $0,3 \div 0,4$ и 0,4.

При отсутствии сведений о площадях водосборов отдельных озер коэффициент озерности принимается равным величине относительной озерности, %

$$f_{оз} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * 100}{F}$$

Если степень озерности менее 2% и озера расположены вне главного русла и основных притоков, снижение максимального стока за счет регулирующего влияния озер не учитывается.

При наличии в бассейне большого числа малых озер с незначительной емкостью, рассредоточенных по всему бассейну и расположенных вне главного русла и основных притоков, величина коэффициента δ принимается равной 0,8 независимо от степени озерности.

Таким образом, формула, рекомендуемая для расчета максимального модуля 1%-ной обеспеченности ($\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$) неизученных рек, имеет следующий окончательный вид:

$$q_{1\%} = \frac{K_o * h_{1\%}}{(F + 1) 0.26} * \delta * \delta_2$$

Величина $h_{1\%}$ определяется согласно рекомендациям, изложенным выше. Параметр K_o принимается по аналогии с изученными реками, а при отсутствии аналога определяется по карте. Коэффициенты δ и δ_2 вычисляются по формулам. Для определения с помощью формулы максимальных расходов других обеспеченностей необходимо учитывать коэффициент μ , который зависит от расчетной вероятности расхода и принимается, согласно [14, 18], по таблице 10.

Таблица 10 – Значения коэффициента μ для расчета максимальных расходов воды различной обеспеченности

Площадь водосбора, км ²	Вероятность превышения, %					
	0,1	1	3	5	10	25
1	2	3	4	5	6	7
≥ 200	1,05	1,00	0,96	0,94	0,92	0,87
< 200	1,1	1,00	0,93	0,87	0,79	0,64

3.5 Учет меженного стока рек

На большинстве рек Новосибирской области четко выраженной фазой водного режима является летняя, а точнее летне-осенняя межень.

Для характеристики летне-осенней межени использованы данные справочников по водным ресурсам для 33 пунктов с периодом наблюдений обычно не менее 10 лет. Во всех случаях выделение меженного периода выполнено за отдельные годы по гидрографам стока, после чего вычислялись определенные характеристики. За начало межени принималось при этом окончание весеннего половодья и за конец – появление на реке устойчивых ледяных образований. Паводки, объем которых превышал объем стока реки за период от начала межени до конца рассматриваемого паводка более чем на 10%, исключались, и общий период межени в этих случаях определялся как сумма двух или нескольких маловодных периодов.

Сведения о величине стока за межень и за ее наиболее маловодную часть. Слой стока за межень в зависимости от общей увлажненности территории и продолжительности этого периода изменяется от долей миллиметра в засушливых районах до 30 мм и более на предгорных реках Правобережья Оби.

Следует отметить, что продолжительность летне-осенней межени по отдельным годам варьирует очень сильно, поэтому средние ее

характеристики, а так же данные о средней водности реки в период межени, не приведены к единому расчетному периоду, дают лишь приближенное представление об этой фазе гидрологического режима рек.

В качестве основной характеристики минимального стока принято его наименьшее среднемесячное значение.

Время наступления минимальных месячных расходов на реках области значительно изменяется как по территории, так и от года к году. Наиболее часто минимумы стока наблюдаются в сентябре и несколько реже в августе. Значительно число случаев наступления минимальных расходов (или полного пересыхания рек) также в июле. Таким образом, к наиболее маловодному периоду летне-осенней межени следует отнести июль – сентябрь. По рекам с более устойчивым стоком этот период чаще всего приходится на август – сентябрь. В отдельные годы на ряде рек наступление минимальных расходов, или прекращение стока, отмечается в июне или в октябре.

Наличие данных о норме минимального стока по 33 пунктам позволило построить карту изолиний, которая более детально отражает характер распределения по территории области элемента стока по сравнению с ранее составленными картами. При построении карты была использована связь модулей стока со средней высотой водосборов. По данным графикам, для различных рек данной области, можно определить модуль стока, а так же и для рек замкнутого контура.

Сведения, приведенные во втором разделе, показывают, что на всех сравнительно крупных реках области имеется по одному или несколько пунктов наблюдений. Следовательно, для конкретных участков на таких реках, расположенных выше или ниже гидрологических пунктов, может быть использован метод интерполяции или аналогии с учетом характера изменения стока по длине реки. Следует отметить, что необходим учет местных особенностей, как естественных (наличие озер, болот,

гидрогеологические особенности), так и искусственно созданных (плотины, пруды, водозаборы и так далее).

Важным фактором, который следует учитывать, является площадь водосбора. Как правило, сток малых рек отклоняется от зональных его значений главным образом в сторону понижения, что связано с уменьшением дренирующей способности малой реки. В результате исследований, проведенных по минимальному стоку зимнего сезона, выявлено, что в Западной Сибири четко прослеживается связь между степенью отклонения минимального стока малых рек от его зональных значений и величиной этого зонального стока. Используя эти результаты, а так же анализ материалов по минимальному летнему стоку малых рек имеют, в общем, аналогичный характер. Поэтому для приближенной оценки редуцированного коэффициента на учет площади водосбора малой реки K_m можно рекомендовать таблицу 11.

Таблица 11 – Редуцированные коэффициенты K_m для расчета нормы минимального среднемесячного стока малых рек (период летней межени)

Зональное значение нормы минимального стока, M_{\min} л/с·км ²	Редуцированные коэффициенты K_m при F							
	100	200	300	400	500	750	1000	1500
1	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5		0	0,20	0,45	0,55	0,70	0,85	1,0
0,75	0	0,20	0,40	0,55	0,65	0,85	0,95	1,0
1,0	0	0,30	0,50	0,65	0,70	0,90	1,0	
1,5	0,05	0,45	0,60	0,75	0,85	0,95	1,0	
2,0	0,20	0,50	0,70	0,80	0,90	1,0		
3,0	0,30	0,65	0,80	0,90	0,95	1,0		
4,0	0,45	0,70	0,85	0,95	1,0			

Редуцированный коэффициент K_m представляющий отношение фактического стока малой реки $M_{\text{фак}}$ к ее зональному значению $M_{\text{зон}}$ и

изменяющийся в пределах от 1 до 1, определяется по этой таблице в зависимости от площади данного водосбора и зональной величины модуля стока.

Анализ распределения коэффициентов вариации минимального стока по территории области показал довольно четко выраженную зависимость его от характера увлажнения. Как видно на схематической карте, наименьшей изменчивостью минимального стока отличаются реки Правобережья Оби ($C_v = 0,2 - 0,8$). В пределах равнинной части области наблюдается резкое увеличение значений C_v с севера на юг, где эти значения достигают 1,30 и более. Важной характеристикой, необходимой для проектирования гидротехнических сооружений, являются минимальные месячные расходы заданной обеспеченности. В данном случае минимальный месячный сток л/с·км² обеспеченностью 75, 90, и 95% подсчитан для 33 пунктов с достаточно длительными рядами наблюдений.

В связи с этим расчет минимального стока неизученных рек заданной обеспеченности рекомендуется производить с использованием трех параметров кривой обеспеченности: нормы минимального стока, коэффициентов вариации и асимметрии (C_v и C_s). Для разработки метода оценки коэффициентов вариации минимального стока неизученных рек использована (широко применяемая в гидрологии) закономерность в распределении этих коэффициентов в зависимости от абсолютной величины стока, которая выражается уравнением:

$$C_v = \frac{a}{M_{мин}^n}$$

$M_{мин}$ – норма минимального среднемесячного стока, л/с·км²; а и n – эмпирические параметры.

Приведенная зависимость имеет обычно региональный характер. В пределах области четко выделяются три отдельных района, параметры формулы по которым приводятся в таблице 12. Крайний юго-запад

территории (район IV) наблюдениями не освещен. Для приближенных расчетов по нему можно принимать данные района III.

Таблица 12 – Параметры a и n для расчетов C_v минимального стока летней межени

Параметр	Номер района по рисунку		
	I	II	III
1	2	3	4
a	0,46	0,50	0,73
n	0,38	0,52	0,53

Наступление минимальных среднесуточных расходов воды или полное прекращение стока вследствие пересыхания рек наблюдается на реках области преимущественно в июле – августе. Раньше эти явления наступают обычно на малых реках с меньшей естественной зарегулированностью стока. Наиболее ранние сроки наступления этих явлений приходится на май, наиболее поздние на октябрь.

Для уточнения характера влияния естественной зарегулированности стока на величину параметра a , а так же учета неоднородности рядов, связанных с различной продолжительностью наблюдений и возрастающим влиянием искусственных сооружений на режим рек, необходимы специальные исследования.

Как уже отмечалось выше, преимущественно в июле – августе на реках области наступает наиболее маловодный период, который нередко сопровождается полным пересыханием рек или прекращением речного стока на перекатах и наличием оставшейся воды в речных плесах.

На резкое увеличение числа пересыхающих рек прежде всего оказала влияние общая засушливость последнего маловодного десятилетия, о чем можно судить как по водности рек, так и по уровням озер. Не исключено и возрастающее влияние хозяйственной деятельности на режим рек.

Чаще пересыхают малые реки. Площадь бассейнов пересыхающих рек возрастает по мере уменьшения увлажненности территории, которую в данном случае можно выразить модулем зонального среднемесячного минимума стока.

Весьма различна и продолжительность пересыхания рек области. По данным ЗСУГМС (Западно-Сибирское управление гидрометеорологической службы) она изменяется от 1 – 5 до 180 суток и более. Кратковременные пересыхания рек отмечаются в разное время летне-осенней межени и не редко в самом его конце. Наиболее поздние сроки бессточного периода приходятся на октябрь и даже начало ноября. Условное продление летне-осенней межени до таких поздних сроков и обусловило столь большие значения бессточного периода в отдельные годы. Как правило летне-осенний бессточный период на таких реках переходит в зимний и сток отсутствует в течение почти всего года.

Как уже отмечалось, во многих случаях при прекращении стока происходит пересыхание рек на перекатах и остается вода в изолированных плесах. Запасы этой воды по оценкам ГГИ (Государственный гидрологический институт) при водосборной площади реки в 100 – 200, 500 – 1000 и больше 1000 км² соответственно составляют 20, 50 – 200 и 200 – 300 тыс. м³.

Наинизшие расходы воды на реках области наблюдаются, как правило, в период зимней межени, который с точки зрения водохозяйственного использования рек является, поэтому лимитирующим.

Таблица 13 – Параметры a и n для расчета коэффициента вариации минимального стока зимней межени.

Параметр	Номер района по рисунку				
	I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6

a	0,12	0,18	0,06	0,21	0,40
n	1,03	0,78	0,84	0,87	0,80

Значительное количество небольших рек Новосибирской области в зимний период промерзает, то есть сток их вследствие истощения запасов подземных вод дренируемой зоны полностью прекращается. Продолжительность промерзания в разные годы и на разных реках не одинакова. Различна и частота наступления этих явлений от года к году. Одни реки промерзают практически ежегодно, другие лишь в особо неблагоприятные зимы.

Для неизученных или слабоизученных рек расчет наибольшей площади водосбора, при которой еще возможно промерзание ($F_{прмз}$), можно производить по эмпирической формуле:

$$F_{прмз} = 1,4 \sqrt{\frac{a}{M_{мин.з}}}, \text{ км}^2$$

a – параметр, значения которого выбираются в зависимости от заданной повторяемости промерзания. Для оценки наибольшей площади бассейна практически ежегодно промерзающих рек принимается $a = 0,004$, для рек, промерзающих в два года $a = 0,03$ и для случаев промерзания в отдельные особо неблагоприятные годы $a = 0,21$.

Продолжительность зимнего бессточного периода на промерзающих реках находится в функциональной зависимости от величины минимального стока. Однако на территории Новосибирской области связь этих характеристик выражена слабо и неоднозначна для рек разной водности.

Для ориентировочных расчетов средней продолжительности зимнего бессточного периода $T_{сут}$ может быть рекомендована эмпирическая формула:

$$T_{сут} = \frac{a - \lg M_{мин.з}}{b}, \text{сутки}$$

где $M_{мин.з}$ – модуль минимального зимнего стока, определяемый для центра тяжести водосбора по карте (рисунок 14); а и b – эмпирические параметры, значения которых приводятся в таблице 14.

Таблица 14 – Параметры для расчета средней продолжительности зимнего бессточного периода.

$M_{мин.з}$	Параметры	
	a	b
1	2	3
0,01 - 0,2	0,365	0,025
0,2 - 3,0	0,841	0,012

Следует отметить, что для меженного стока рек Новосибирской области длительные периоды осенней и зимней межени являются весьма неблагоприятными для водохозяйственного использования многих из них. Особенно это относится к центральным и южным районам, где почти все реки часто пересыхают летом и промерзают зимой. В основном пересыхают и промерзают реки бассейна Оми, Шегарка, Бакса и ряд более мелких. Следовательно, рациональное использование водных ресурсов этих рек возможно только на базе искусственного регулирования их стока.

Заключение

Значение гидрологии, гидрометрии и регулирования стока определяется главными задачами водного хозяйства как отрасли науки и техники, охватывающей учет, изучение, использование, охрану водных ресурсов, а также борьбу с вредным действием вод.

Гидрология – это наука, изучающая гидросферу, включая океаны и моря, реки, озера, болота, почвенные и грунтовые воды, снег и ледники, влагу атмосферы, а также ее свойства и протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой (земной корой) и биосферой.

Вода – основная среда, обеспечивающая обмен веществ и развитие организмов. С древнейших времен жизнь человека и развитие культуры связаны с водой. Она широко используется в промышленности, энергетике, сельском и рыбном хозяйстве, в медицине и т.д. Вода – объект изучения физики, химии, механики и других наук.

Гидрология тесно связана с метеорологией – наукой об атмосфере и происходящих в ней процессах, и в первую очередь с той ее частью, которая исследует влагооборот и испарение с поверхности воды. Взаимосвязь гидросферы с литосферой наиболее отчетливо проявляется в процессах формирования земной поверхности под влиянием деятельности воды. В свою очередь, рельеф земной поверхности оказывает существенное влияние на образование водных потоков. Поэтому гидрология имеет много общего с геоморфологией – наукой, изучающей закономерности возникновения и развития форм земной поверхности.

Раздел гидрологии, изучающий поверхностные воды, называется гидрологией суши или континентальной гидрологией. Раздел гидрологии по изучению воды океанов и морей называют гидрологией океанов и морей или океанологией.

Гидрология грунтовых (подземных) вод называется гидрогеологией.

В гидрологию входят те разделы гидрогеологии, которые изучают взаимодействие поверхностных и подземных вод, питание рек грунтовыми водами и др. Разделы гидрогеологии, изучающие способы поиска и добычи грунтовых вод, их взаимодействие с горными породами, относят к геологии.

Различают гидрологию рек (речная гидрология, или потамология), озер (лимнология), болот (тельматология), водохранилищ, ледников (гляциология). Речная гидрология и речная гидравлика, изучающие движение воды в речных руслах и их формирование, дополняют друг друга. Речную гидравлику можно рассматривать как раздел гидрологии суши и как раздел гидравлики.

Гидрология, занимающаяся решением различных инженерных задач (в гидротехнике, гидромелиорации, гидроэнергетике, водоснабжении, строительстве ГТС и мостов, автомобильных и железнодорожных дорог и т.д.) называется инженерной.

В результате широкого применения в гидрологии теории вероятностных процессов сформировалась стохастическая гидрология.

Гидрометрия – это наука о методах и средствах определения величин, характеризующих движение и состояние жидкости и режим водных объектов. В задачу гидрометрии входят определения: уровней, глубин, рельефа дна и свободной поверхности потока; напоров и давлений; скоростей и направлений течения жидкости, пульсаций скоростей и давлений; параметров волн; гидравлических уклонов; расходов жидкости; мутности потока; расходов наносов и пульпы; элементов термического и ледового режимов потоков.

Регулирование речного стока – это наука о перераспределении (увеличение или уменьшение) во времени объемов речного стока в замыкающем створе реки по сравнению с ходом поступления воды на поверхность водосбора.

Список использованной литературы

1. Бурдыкина А.П. Значение механического фактора при вскрытии сибирских рек. Л.: Изд. Главсевморпути, Ж. «Проблемы Арктики», №4, 1946.
2. Быдин Ф.И. Зимний режим рек и методы его изучения. «Исследования рек СССР», вып.5. Л., Изд. ГГИ, 1933.
3. Векшина Т.В., Большаков В.А. Математическая модель влияния зарастания на гидравлические сопротивления речных русел // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право / Вып. 3 (21) / Под ред. д.т.н., проф. Истомина Е.П. – СПб.: ООО «Андреевский издательский дом» – 2017 г – С. 145-147
4. Векшина Т.В., Большаков В.А. Оптимизация гидрометрического учета стока зарастающих рек//Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов 29 апреля 2017 г. по материалам XVI международной научно-практической конференции/ Под общ. Ред. А.В. Туголукова – Москва: ИП Туголуков А.В., 2017 – 259с.
5. Великанов М.А. Гидрология суши. М.; Гидрометеиздат, 1948.
6. Великанов М.А. Динамика русловых потоков - М.: Гидрометеиздат, 1955.
7. Водные пути бассейна Лены. Под общей редакцией Р.С.Чалова, В.М.Панченко, С.Я.Зернова., М., МИКИС, 1995. – 600 с.
8. Давыдов Л.К. Вскрытие рек арктической и субарктической зоны. Л.: Изд. Главсевморпути, Ж. «Проблемы Арктики», №1, 1939.
9. Карасев И.Ф. Математические модели гидрометрического учета речного стока.- Труды ГГИ, 1978, вып.256, с.3-35.
10. Карасев И.Ф., Коваленко В.В. Стохастические методы речной гидравлики и гидрометрии.- СПб.: Гидрометеиздат, 1994
11. Ковалев Л.М. Расчеты зимнего стока рек с ледяным покровом. - М., Л.: Гидроэнергоиздат, 1950. – 104 с.

12. Конкина Н.Г. К вопросу о квалификации рек СССР по ледовому режиму. – Вестник ЛГУ, 1957, №18, серия геологии и географии, вып.3, с.119-127.
13. Левин А.Г. Водные ресурсы Колымы. М.: Гидрометеиздат, 1954.
14. Методические рекомендации по учету стока на реках в зимний и переходные периоды.- Л.: 1980, 50 с.
15. Наставление гидрометеорологическим станциям и потам, вып.6, ч. 3 -Л.: Гидрометеиздат, 1978.
16. Нежиховский Р.А. Коэффициенты шероховатости нижней поверхности шуголедного покрова.- Труды ГГИ, 1964, вып.110, с.15-35.
17. Нежиховский Р.А. Типы замерзания рек и типы зажоров льда. – Метеорология и гидрология, 1974, №2, с.68-74.
18. Огиевский А.В. Гидрометрия и производство гидрометрических работ. – М., Л.: ОГИЗ, 1937. – 342 с.
19. Основные гидрологические характеристики.
20. Панов Б.П. Зимний режим рек СССР. – издательство ЛГУ, 1960. - 239 с.
21. Пиотрович В.В. Аминаева В.Я. Расчет толщины ледяного покрова на реках и водохранилищах для целей прогноза ледовых явлений. - В кн. Труды IV Всесоюзн. гидролог. Съезда. Т.7. Л.: Гидрометеиздат, 1976, с.288-295.
22. Пиотрович В.В. О притоке тепла к нижней поверхности ледяного покрова рек. Л.: Гидрометеиздат, Тр. ЦИП, вып.2, 1947
23. Румянцев В.А., Зорин М.В. Некоторые особенности применения аппарата множественной линейной регрессии при построении нелинейных моделей. – В кн. Труды IV Всесоюзн. гидролог. Съезда. Т.7. Л.: Гидрометеиздат, 1976, с.30-40.
24. Рязанов В.С. Вычисление стока воды в зимний и переходные периоды. – Метеорология и гидрология, 1980, №7.

25. Соколов Б.Л. Наледи и речной сток. – Л. : Гидрометеоздат, 1975. – 190 с.
26. Флерова Р.А. Гидрологический анализ результатов наблюдений на речных станциях – Л., Гидрометеоздат, 1951. – 62 с.
27. Чалов Р.С. Общее географическое и инженерное русловедение: предмет исследований и положение в системе наук. Вестн. Моск. Ун-та. Сер.5, География. 1992, №6, с.10-16.