

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Расчеты характеристик максимального стока (прежде всего максимальных расходов и слоёв весеннего половодья заданной вероятности превышения) являются основными при выполнении инженерно-гидрометеорологических изысканий для проектирования различных объектов.

Основным нормативом, регламентирующим особенности гидрологических расчетов, является СП 33-101-2003. Наибольшим недостатком этого нормативного документа является отсутствие специальных региональных карт и зависимостей для расчета гидрологических характеристик на неизученных реках. В практике инженерных изысканий до настоящего времени используются карты и расчетные схемы из пособия и региональных справочников, которые были выпущены более 40 лет назад и позднее не обновлялись. Поэтому, изучение характеристик стока для расчета максимальных расходов неизученных рек бассейна верхней Лены, на основе современных результатов наблюдений на реках-аналогах представляет, как научный, так и практический интерес. Уточнение статистических параметров рядов максимального стока, построение региональных зависимостей и обновление гидрологических карт необходимо для обеспечения нормальной эксплуатации уже действующих и новых проектируемых сооружений.

Объектом исследования являлись данные о максимальном стоке на гидрологических постах сети Росгидромета, находящихся в районе бассейна реки Лена (верховье).

Предмет исследования - изменения статистических параметров распределения максимального стока и связанные с этим изменения региональных зависимостей и гидрологических карт.

Цель работы: выявить, с помощью методов статистического анализа, изменения статистических параметров распределения максимального стока на основе современных данных по рекам-аналогам.

Задачи:

1. Оценка однородности рядов;
2. Приведение коротких рядов и их параметров к многолетнему периоду;
3. Оценка основных статистических характеристик и их погрешностей;
4. Расчет максимальных расходов и слоев половодья в пунктах наблюдений гидрометрической сети;
5. Расчет максимальных расходов весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений;
6. Корректировка гидрологических карт в районе исследований.

Методика исследования включала в себя:

- анализ качества исходных данных - материалов наблюдений за характеристиками максимального стока;
- обработку рядов максимальных расходов и слоёв половодья в соответствии с требованиями СП 33-101-2003, Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик.

Основное содержание работы

1 Физико-географическая и климатическая характеристика района исследований

Исследуемый участок территории располагается в верховье реки Лены. С точки зрения физико-географического районирования территория располагается на Лено-Ангарское плато.

Плато располагается в междуречье Ангары и Киренги, частично заходя на правобережье Ангары. Плато имеет форму уплощенного купола длиной до 600, шириной около 380 км и относительной высотой 500 – 1085 м. Абсолютные высоты плато постепенно возрастают с запада на восток от 550-650 м вблизи долин рек Илима и Ангары до 1000 – 1100 м в бассейне верхней Лены.

Климат района влажный с умеренно теплым летом и умеренно холодной малоснежной зимой, характеризуется резкой континентальностью, проявляющейся через низкие зимние и высокие летние температуры. Среднегодовая температура равна минус 4.7°C, января минус 28.5°C, июля 17.3°C. Абсолютный минимум составляет минус 54°C, абсолютный максимум 38°C. Среднее многолетнее количество осадков составляет 368 мм. Большая их часть выпадает в теплое время года. Преобладающее направление ветра северо-западное. Наибольшие скорости ветра достигают 30 м/с.

Почвенный покров территории характеризуется сменой типов почв от вершин к долинам рек. Таежные водораздельные поверхности заняты подбурами, дерново-подзолистыми, дерново-таежными и мерзлотно-таежными в сочетании с дерново-карбонатными выщелоченными, бурыми и дерновыми лесными почвами. Для крутых склонов характерны дерново-карбонатные маломощные каменистые, дерновые лесные маломощные каменистые и дерново-карбонатные выщелоченные маломощные почвенные

комплексы. Доминирующими на исследуемой территории выступают горнотаежные южносибирские геомы, представленные горнотаежными темнохвойными классами фаций. Водораздельные поверхности и привершинные склоны в западной и центральной частях заняты пихтово-кедровыми и кедрово-пихтовыми с примесью лиственницы кустарничково-мелкотравно-зеленомошными группами фаций. На склонах распространены пихтово-кедровые с елью кустарничково-травяно-зеленомошные леса.

Многолетняя мерзлота оказывает большое влияние на формирование ландшафтов. Наличие мерзлоты определяет также особенности режима поверхностных и грунтовых вод.

Большая часть исследуемой территории – островная мерзлая зона представлена только отдельными «островами» многолетнемерзлых горных пород, приуроченных, как правило, к заболоченным днищам речных долин, торфяным буграм, а также к нижней части склонов северной экспозиции.

Исследуемая территория относится Лены и ее правого притока Киренги. Речная сеть хорошо развита и представлена правыми притоками р. Лены - Чичапта, Орлинга, левым притоком р. Киренги - Хандой и малыми водотоками. При общем для всех рек территории смешанном питании преобладающим является снеговое питание. По классификации Б. Д. Зайкова реки изучаемой территории можно отнести к восточносибирскому типу рек с весенним половодьем. Восточносибирский тип характеризуется высоким весенним половодьем, систематическими летне-осенними паводками и очень низким стоком зимой. Дождевые паводки на большинстве рек и ручьев высоки, и в отдельные годы их максимальные расходы могут приближаться к максимальным расходам весеннего половодья. Максимальный расход половодья превышает средний годовой расход в среднем в 20 - 25 раз.

2 Особенности гидрологического режима рек бассейна верхней Лены

В результате снеготаяния в конце апреля-начале мая в верховьях Лены начинается весенний подъем уровня воды. Высокие подъемы уровня воды от заторов льда наиболее часто наблюдаются на участках нижнего течения реки Лены (между р. п. Жигалово и с. Орлинга) и их притоков (реки Тутура, Киренга, Бирюк). Величина подпора уровня при заторах льда составляет до 5-10 м на р. Лена ниже с. Табага). При ледоходе величина подпора уровня значительно ниже 2-3 м.

Одной из характеристик годового хода уровня рек является наибольшая интенсивность его изменения. Особенно быстрый подъем весеннего половодья (4-8 м/сутки) отмечается на больших реках с ясно выраженной этой фазой режима, что обусловлено ускоренным таянием снега в бассейнах, и меридиональным направлением течения рек.

Наибольшая интенсивность спада весеннего половодья, составляет 0,5-3,0 м/сутки. Заканчивается половодье на реках верхней части бассейна Лены обычно в конце мая-начале июня.

Средняя годовая амплитуда колебаний уровня воды реки в общем зависит от ее водности и морфологических характеристик русла и достигает 9-15 м.

Колебания низших летне-осенних уровней воды рек в основном повторяют ход изменения их стока. Величина подпора уровня, обусловленная водной растительностью, незначительна большей частью не превышает 20-30 см.

Средняя продолжительность навигационного периода от 100 дней до 160 дней на крайнем юго-западе (р. Лена - с. Грузновка). В отдельные годы продолжительность периода навигации может отклоняться от ее средних значений на величину до 20-25 дней (р. Лена в верхнем течении).

Кроме того, в период замерзания наблюдаются повышения уровня воды, связанные с образованием зажоров (Лена - с. Грузновка).

После установления на реках ледостава ход уровня воды довольно сложен и разнообразен. Лена относится к типу рек на которых в момент

образования ледостава или несколько позднее происходит, как правило, подъем уровня, переходящий затем в медленное его падение до конца февраля-начала апреля.

Зимние уровни обычно ниже летних и являются годовыми минимумами. Самые низкие уровни воды при ледоставе наблюдаются в феврале-апреле.

3 Анализ рядов максимальных расходов и слоев половодья

В качестве исходных данных использовались ряды максимальных расходов и слоев весеннего половодья по 18 постам рек бассейна Лены.

Одной из самых важных гидрологических характеристик является расчетный максимальный расход воды. По имеющимся данным наблюдений за максимальными расходами и слоями стока половодья были произведены расчеты по рекам-аналогам. При выборе аналогов учитывались как большая продолжительность наблюдений в этих пунктах, так и более тесные связи между стоком в приводимом к многолетнему периоду пункте и стоком в пунктах аналогах.

Параметры восстановления и удлинения рядов максимальных расходов воды весеннего половодья представлены в Приложении Б. Подробно методика восстановления ряда описана в «Методических рекомендациях по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений», здесь необходимо лишь отметить, что большинство рядов восстановлено методом уравнения линейной регрессии при одном аналоге, при коэффициенте парной корреляции превышающем 0.7 и соблюдении вышеперечисленных условий.

4 Расчет максимальных расходов и слоев половодья в пунктах наблюдений гидрометрической сети

Вычисление параметров распределения рядов максимальных расходов воды весеннего половодья выполнено в соответствии с СП 33-101-2003 и в соответствии с «Методическими рекомендациями по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений».

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что все практически ряды удовлетворяют условиям репрезентативности, так как относительная погрешность расчета среднего значения не превышает 10%, а относительная погрешность коэффициента вариации не превышает 15%.

Относительная погрешность расчета коэффициента асимметрии C_s высокая (достигает 150%) и в таком случае для дальнейших расчетов рекомендуется использовать районное значение отношения C_s/C_v . Либо значение отношения C_s/C_v при котором аналитическая кривая будет лучшим образом соотноситься с эмпирической кривой обеспеченности.

Для построения эмпирической и аналитической кривых обеспеченности значения исходного ряда ранжировались (располагались в убывающем порядке). После чего для каждого члена ранжированного ряда рассчитывалась эмпирическая обеспеченность по формуле Крицкого-Менкеля. Эмпирические кривые строились на основе специальной клетчатки вероятностей.

Для определения расчетных максимальных расходов воды применялись аналитические функции распределения ежегодных вероятностей превышения – кривые обеспеченностей. Для сглаживания и экстраполяции кривых были приняты распределения Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа. Оценки параметров кривых распределения устанавливались методом моментов и методом наибольшего правдоподобия. В отдельных случаях использовался метод подбора отношения C_s/C_v .

Аналогичным образом были обработаны ряды наблюдений за слоями стока весеннего половодья.

5 Расчет максимальных расходов весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

Одной из самых важных гидрологических характеристик является расчетный максимальный расход воды.

В соответствии с СП 33-101-2003, для расчетов максимальных расходов воды неизученных рек, при отсутствии рек аналогов, рекомендуется принять региональную редуцированную эмпирическую формула, представленная в «РПВ»:

$$Q_{1\%} = q_{1\%} F, \quad (2)$$

где $Q_{1\%}$ - мгновенный максимальный расход половодья 1%-ной обеспеченности в м³/с;

F – площадь водосборного бассейна да замыкающего створа, в км²;

$q_{1\%}$ - модуль максимального расхода половодья 1%-ной обеспеченности в м³/с км², определяемый по формуле:

Показатель степени n , характеризующий редуцицию коэффициента дружности половодья K_0 в зависимости от площади водосбора определялся по графику зависимости отношения:

$$q_{1\%}/h_{1\%} = f(F+1), \quad (6)$$

Показатель степени редукиции для рассматриваемого района составляет $n = 0,17$

Коэффициент дружности весеннего половодья K_0 вычислен по данным рек-аналогов обратным путем из формулы (3). Ввиду того, что для всей исследуемой территории залесенность водосборных бассейнов составляет более 80%, этот параметр не был включен в эмпирическую формулу, так как он учитывается полученными значениями слоя стока. Так как площади озер и болот занимают на водосборных бассейнах менее 1 и 5 % соответственно, а в некоторых случаях отсутствуют вообще, то для удобства использования формулы (3) ими можно пренебречь и в дальнейшем при определении

максимального расхода неизученных рек исследуемой территории не учитывать в расчете.

Полученные значения коэффициента дружности весеннего половодья K_0 нанесены на схему Приложение К, однако, картировать их при помощи изолиний затруднительно. Для расчета по формуле (3) рекомендуется использовать среднее значение коэффициента дружности половодья, вычисленное по данным статистических расчетов, оно получилось равным 0.004.

Значение коэффициента μ , учитывающего неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды получено по вычисленным значениям коэффициентов перехода от максимального расхода (модуля) 1%-ной обеспеченности к другим обеспеченностям и коэффициентов перехода от слоя стока 1%-ной обеспеченности к другим обеспеченностям по формуле:

$$\mu_{P\%} = \frac{q_{P\%} h_{1\%}}{h_{P\%} q_{1\%}} \quad (7)$$

Для исследования пространственной изменчивости характеристик слоя весеннего половодья выполнено картирование значений слоя стока весеннего половодья $h_{1\%}$ и коэффициента вариации C_v .

Значение слоя стока весеннего половодья 1%-ной обеспеченности меняется от 100 мм на юго-западе района исследований до 200 мм в восточной ее части.

Изменение коэффициента вариации по району в целом имеет обратную тенденцию. Наименьшие значения коэффициента вариации наблюдаются на севере - $C_v = 0.27$, наибольшие - на юго-западе ($C_v = 0.54$).

Районирование величины отношения (C_s/C_v) не производилось, ввиду отсутствия закономерностей распределения этой величины по территории верховья бассейна реки Лены. Отношения (C_s/C_v) по району исследований колеблется в пределах от -0,49 до 2.70.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным проведенных исследований в выпускной квалификационной работе были получены следующие результаты:

Выполнен сбор и анализ исходной информации - данных по максимальным расходам воды и слоям стока весеннего половодья для рек бассейна верховья Лены. Из общего числа данных отобраны 27 гидрологических поста, из них 13 действующих и 14 закрытых. Действующие посты отвечают следующим требованиям: продолжительность наблюдений не менее 25 лет, площадь водосбора не более 55 000 км², отсутствие значимых антропогенных изменений. Для закрытых постов основным требованием было - продолжительность периода наблюдений не менее 6 лет.

Для постов с недостаточными периодами наблюдений расчетные характеристики максимального стока приводились к многолетнему периоду. Для выбранных постов выполнена оценка однородности и стационарности рядов максимального весеннего стока. Проверка ряда на однородность проводилась в рамках модели случайной величины с использованием критериев Фишера и Стьюдента. В большинстве случаев гипотеза об однородности ряда не опровергалась при 5%-ном уровне значимости.

Был выполнен анализ основных статистических характеристик и их погрешностей, из полученных результатов можно сделать вывод, что все практически ряды удовлетворяют условиям репрезентативности.

Учитывая, что относительная погрешность расчета коэффициента асимметрии C_s высокая, то в расчетах рекомендуется использовать районное значение отношения C_s/C_v при котором аналитическая кривая будет лучшим образом соотноситься с эмпирической кривой обеспеченности.

С использованием полученных статистических параметров были построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей и

рассчитаны максимальные расходы воды и слои стока весеннего половодья различной обеспеченности. Для сглаживания и экстраполяции кривых были приняты распределения Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа. Оценки параметров кривых распределения устанавливались методом моментов и методом наибольшего правдоподобия. В отдельных случаях использовался метод подбора отношения C_s/C_v .

С использованием полученных данных проведено уточнение значения районного показателя редукции для рек района исследований. По результатам расчетов показатель редукции составил $n = 0,17$.

Выполнен расчет и картирование коэффициента K_0 , характеризующего дружность весеннего половодья. Коэффициент K_0 по району исследований колеблется в пределах 0,002 - 0,006, среднее значение K_0 для района исследований составило 0,004.

Проанализирована пространственная изменчивость характеристики значений слоя стока весеннего половодья $h_{1\%}$ и коэффициента вариации C_v слоя стока весеннего половодья для района исследований, выполнено картирование данных характеристик.

При расчете максимальных расходов воды весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений, отношение C_s/C_v для слоя стока весеннего половодья для рек рекомендуется принимать среднее значение отношения (C_s/C_v) следует принимать как среднее по данным ближайших 3-5 рек-аналогов.

По результатам пробеленных работ можно считать, что разработана региональная методика для расчета максимальных расходов воды весеннего половодья для случая отсутствия данных наблюдений в створе проектирования. Выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, полученные данные можно использовать для дальнейших расчетов при проектировании различных объектов для неизученных рек бассейна верхней Лены.