



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

Прогноз слоя стока весеннего
половодья на малых и средних
реках лесной зоны (на примере
притоков р. Вятка)

На тему

Исполнитель _____
Канашина Ульяна Романовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____
К. Г. Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Постников Александр Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К. Т. Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«13» июня 2022г.

Санкт-Петербург
2022

Введение

Глава 1 Физико-географическое описание

Глава 2 Весеннее половодье и его элементы

Глава 2.1 Общие закономерности и факторы весеннего стока

Глава 3 Расчет и прогноз сляя стока весеннего половодья с бассейна р.

Кобра

Глава 4 Прогноз по независимым материалам

Заключение

Список использованных источников

Введение

Целью данной дипломной работы является изучение методов прогнозирования и сам прогноз стока весеннего половодья на малых и средних реках лесной зоны на примере притока р. Вятка реки Кобры.

Заблаговременные прогнозы на явления природы сформированы на знании закономерности тех или иных процессов в данных физико-географических условиях. Потребность в гидрологических прогнозах появляется из-за изменчивости режима рек, что в свою очередь влияет на жизнь людей, живущих возле рек и на их хозяйственную деятельность.

Гидрологические прогнозы принято разделять на несколько видов в зависимости от заблаговременности предсказываемых элементов, целевого назначения и других признаков.

По признаку заблаговременности различают:

1. Краткосрочные прогнозы, с заблаговременностью до 15 суток;
2. Среднесрочные прогнозы, с заблаговременностью от 15 суток до 1 месяца;
3. Долгосрочные прогнозы, с заблаговременностью от одного месяца до нескольких и более.

По характеру предсказываемых элементов режима гидрологические прогнозы делятся на ледовые и водные:

1. Водные прогнозы – это прогнозы уровня воды в сезон и уровня стока паводка, максимальные расходы и уровни половодья и паводков, средние расходы воды за определенные периоды на конкретные даты, время прихода максимума половодья, приход воды в водохранилище и прочее;

2. Ледовые прогнозы – это прогнозы дат срока появления и исчезновения ледового покрытия рек, озер и водохранилищ, прочность льда и прочее.

Долгосрочные прогнозы слоя стока весеннего половодья играют важную роль в обеспечении функционирования многих отраслей народного хозяйства. Разработка методов прогноза весеннего стока и исследование его формирования являются одними из актуальных задач в гидрологии. Гидрологические прогнозы нужны для того, чтобы предсказывать такие опасные природные явления, как наводнения и засухи, чтобы в дальнейшем была возможность оповещения населения и предотвращения экстренных ситуаций. Так же своевременное принятие оперативных мер по предотвращению негативных последствий, вызванных весенним половодьем, требует качественной прогностической информации. Поэтому, разработка эффективных методик прогноза основных элементов гидрологического режима реки в период весеннего половодья является весьма актуальной в наше время.

Основными задачами данной дипломной работы являются: исследование вопросов теории формирования слоя половодья и его потерь, исследование основных методов расчета и прогноза слоя стока половодья, проверка практической пригодности разработанных методов для расчета и прогноза слоя стока весеннего половодья на примере притока реки Вятка – р. Кобра.

Глава 1 Физико-географическое описание

Вятка – крупнейший правый приток Камы, протекает по территории европейской части Российской Федерации в пределах Кировской области, Татарстана и Удмуртии.

Река Вятка берет свое начало на Верхнекамской возвышенности. Следуя по равнинной территории, несколько раз резко меняет направление течения: сначала река течет на север, затем с севера на запад и юго-запад, затем на юг и юго-восток. Для Вятки в целом характерна извилистость на всем протяжении русла. Река проходит в широкой долине с пологими склонами. Правый берег Вятки, как правило, выше левого. По всему течению много перекатов, затрудняющих судоходство.

По пути принимает притоки справа и слева, главных – около десятка, всего же притоков разной величины – более 80. Главные из них: справа – Кобра, Летка, Великая, Молома, Пижма; слева – Чепца, Быстрица, Воя, Кильмезь.

Чем ближе к Каме, тем чаще в низовьях расширенные и суженные участки долины чередуются через несколько километров. Низменные берега заняты обширными болотами. Вдоль всей Вятки – многочисленные водоемы, которые местное население именуется «озерами», на самом деле представляющие собой старицы Вятки – участки прежнего русла, отделившиеся от основного течения, когда менялось направление русла этой исключительно извилистой реки.

Река петляет и резко меняет направление течения. Коэффициент извилистости Вятки равен 4,15; тогда как в среднем он редко превышает 2,5. В период половодья мощный поток часто промывает новый путь, об этом свидетельствуют старицы, отделившиеся от русла и ставшие озерами.

Долина Вятки просторная, до 20 км, в верхнем течении сильно заболочена. Она сформировалась под воздействием тающих ледников. Вода опустилась в низину, образовались болота. Там, где река пересекает Вятский Увал, долина то сужается до 750 м, то расширяется до 4 км.

В верхнем течении ширина русла 40-50 м, глубина плесов от 3 до 5 м, на перекатах – до 0,3 м. Берега низкие, правый чуть выше левого.

Речная долина в нижнем течении колеблется от 1 до 5 км. Ширина водного потока ближе к устью достигает 450 м. Глубина плесов составляет 7-10 м, на перекатах – до 0,55 м.

Почва на дне песчаная, рыхлая, поток активно переносит ее, происходит постоянное изменение подводного рельефа, образуются многочисленные перекаты, отмели и островки.

Вятка впадает в Каму в 17 км ниже города Мамадыш в Татарстане.

Длина реки составляет 1314 км. Площадь водосборного бассейна 129 000 км².

Средний расход воды: 890 м³/с (Вятские Поляны). Максимальный – 9690 м³/с. Минимальный зимой – 91 м³/с. Высота истока: 240 м над у.м. Высота устья: 53 м над у.м. Разница высотных отметок между истоком и устьем – 187 м. [6]

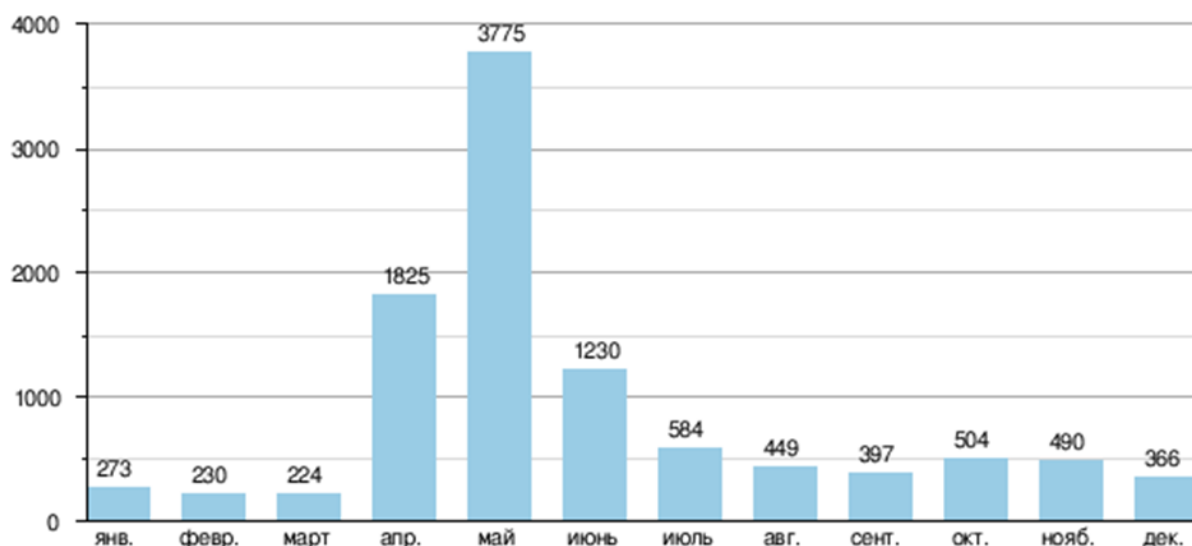


Рисунок 1. Средний расход воды реки Вятка по месяцам с 1918 по 1985 гг. (г. Вятские Поляны)

В половодье скорость течения – 1,5 м/с, в межень – 0,5 м/с.

Климат на данной территории умеренно континентальный. Средняя температура воздуха в январе: $-12,5^{\circ}\text{C}$. Средняя температура воздуха в июле: $+18,5^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков: 500-700 мм. Относительная влажность воздуха составляет 70%. [8]

Крестовский О.И. считает, что водосбор реки Вятки по своим физико-географическим условиям типичный для обширной части равнинной территории Северо-Двинского и Камско-Волжского бассейнов. [4]. Таким образом, полученные выводы могут носить не только локальный характер, а быть достаточно в какой-то степени общим, по крайней мере, для лесной зоны северо-восточной и северной европейской России.

Исторически река Вятка и ее притоки стали водными путями, по которым переселенцы из центральной части нынешней России добирались до

Урала и далее. Значение Вятки многократно возросло в годы великой отечественной войны, когда на ее берегах появились предприятия, эвакуированные из центральной части союза.

В старину река Вятка была одной из важнейших для центральной России торговой водной дорогой. По ней перевозили главным образом зерно, дрова и лесоматериалы. Но самым важным товаром очень долгое время оставалась каменная соль.

По реке издавна осуществлялся сплав леса, и по ее берегам были построены десятки предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности: мебельной, фанерной, спичечной (первая спичечная фабрика была открыта в 1873 г.). Предприятия продолжают работу, хотя и в меньшем объеме: в целях предотвращения дальнейшего загрязнения реки существовавший веками молевой сплав леса по Вятке прекращен в 1980-е гг., а плотовой сплав — в начале 1990-х гг.

Пожалуй, самое большое промышленное предприятие в бассейне Вятки — огромный Кирово-Чепецкий химический комбинат, для продукции которого, в том числе различных минеральных удобрений, требуется громадное количество воды.

В городе Сосновка сохранилось уникальное предприятие — судостроительный завод, открытый в 1924 г., выпускающий для судоходства по Вятке катера, шлюпки и суда на воздушной подушке.

Вятка — река судоходная, но мелководная, с большим количеством перекатов. Образуются они вследствие рыхлости пород, слагающих берега и ложе реки, что чрезвычайно благоприятствует образованию отмелей, песчаных кос и островов, которые препятствуют судоходству, особенно в летнее время, когда уровень воды в реке понижается. Глубины на перекатах в межень составляют едва 0,45 м в верхнем течении, а в среднем и нижнем — до 0,65-0,85 м. Глубина на плесах чаще всего 3-5 м, реже 7-10 м. Поэтому она

судоходна летом от впадения в Каму до города Кирова на протяжении 700 км, а весной, когда вода поднимается над порогами, — на протяжении 966 км, от поселка Подрезчиха до пристани Кире.

Большинство населения по берегам вятки — русские (около 95%), далее — по мере убывания численности — удмурты, татары, марийцы.

Вятка — главная река Кировской области, и на ней стоят многие ее города. Большинство городов располагаются на месте древнейших поселений. Так, например, ученые-археологи относят первые крепостные сооружения города Слободского к XIII в. Не менее древние находки сделаны в Кирово-Чепецке и его окрестностях: свидетельства жизни здесь еще древнерусского населения — Кривоборское городище и Усть-Чепецкий могильник XII-XV вв.

Крупнейший и старейший город на Вятке — Киров, административный центр Кировской области, в старину именовавшийся просто Вятка по названию реки, на которой он стоит. Согласно «Повести о стране Вятской» — сборнику народных и церковных преданий XVIII в., город был основан после 1181 г. новгородцами. А первое упоминание о городе Вятке (или Вятской земле) в общерусских летописях датируется 1374 г. в связи с походом новгородских ушкуйников на Булгар — столицу Волжской Булгарии.

Питание и режим

Тающий снег – основной источник питания Вятки. Значительную часть притока летом и осенью составляют обильные дожди. Пополняют реку родники и болота.

Воды Вятки находятся подо льдом почти полгода. Застывает река в первых числах ноября, вскрывается – в середине апреля.

Половодье продолжается два месяца: с начала апреля до конца мая, иногда до июня. За это время проходит больше 80% общегодового стока. Уровень воды поднимается на 4-6 м. Этого достаточно, чтобы залить

обширную, местами болотистую пойму. Максимальный подъем уровня воды зафиксирован в 1979 г., он составил 635 см. Минимальный пришелся на 2002 г. – 542 см.

В период межени, если лето засушливое, на перекатах река мельчает до полуметра, в низовьях – до метра. За счет дождей уровень воды снова поднимается.

Вода в Вятке мягкая, мутная. Она используется для нужд поселений. Несмотря на обилие промышленных предприятий, река считается умеренно загрязненной, а ближе к устью – чистой.

Рельеф и почвы

Рельеф бассейна Вятки – это всхолмленная равнина с развитой гидрографической сетью и перепадами до 100 метров высот. Уклоны склонов в преобладающем большинстве составляют 20-40 процентов. Юго-западная часть, пересекаемая рекой Пижма, это наиболее ровная часть, где перепады высот всего около 50м.

В работах [3, 4] говорится, что водосбор реки Вятка характеризуется большим разнообразием почв по механическому составу, и поэтому, значительной изменчивостью их, по площади водосбора, водопроницаемости. Севернее г. Киров и р. Чпцы, в северной части водосбора преобладают дерновоподзолистые, среднеподзолистые и сильноподзолистые почвы на суглинках, с умеренно слабой водопроницаемостью, которая сравнительно мало изменяется с территорией. Южная и средняя части бассейна Вятки заняты в основном подзолистыми почвами, по механическому составу варьируемые от песков до тяжелых суглинков и обладающие значительным разнообразием водопроницаемости. Амплитуда колебаний коэффициентов фильтрации тут достигает трех порядков. В бассейне Вятки так же кроме названных типов почв имеются аллювиальные луговые и болотные, но их распространение незначительное.

В генерализованном виде почвенную карту-схему Крестовский представляет следующим образом: «почвы водосбора Вятки среднеподзолистые и сильноподзолистые на покровных супесях и суглинках. Суглинки занимают порядка 50% площади, супеси около 30%, пески – 10%, торфяные почво-грунты – 10%. Заболоченность территории составляет 2-10%.»

Дерново-подзолистые почвы имеют резко выраженное разделение на генетические горизонты: сверху до 10-20 см располагается рыхлый перегнойно-аккумулятивный, затем до глубины в 20-35 см идет слой подзола и ниже до глубины в 50-100 см расположен аллювиальный горизонт (уплотненный). Также наблюдается быстрое уменьшение водопроницаемости по глубине, которое обусловлено снижением пористости и количеством крупных пор: первый горизонт имеет пористость в среднем 50%, второй 40-45%, третий 30-35%. Последний обычно представлен глинами и суглинками, во влажном и промерзшем состоянии очень незначительная водопроницаемость и может служить водоупором, над которым может образовываться верховодка.

Примерно на 25% площади водосбора Вятки грунтовые воды залегают на глубине 0,5-1 метр. К таким участкам относятся поймы рек, тальвеги, низкие части склонов. На остальной территории водосбора грунтовые воды первого водоносного горизонта залегают в теплый период на глубине 1,5-3 м, а на некоторых участках до 5-10 м, особенно на юге бассейна. На многих участках бассейна в периоды обильного увлажнения почв образуется верховодка, что весьма характерно для условий данной зоны.

Залесенность бассейна составляет около 50% и изменяется в зависимости от района в пределах от 20% до 80-90%. В северных районах она составляет порядка 80-90%. Преобладающими породами являются хвойные. В южных и центральных районах наблюдается разнообразие типов лесов: смешанные виды на суглинках и супесях, еловые и елово-осиновые на

суглинках, сосновые на песках, сосново-еловые на супесях. Залесенность центрального района составляет от 30% до 70%, наиболее распространены смешанные виды леса с преобладанием хвойных пород деревьев. Сильно разреженные смешанные леса распространены в южной части водосбора с преобладанием еловых и сосновых пород.

Территория бассейна незначительно заболочена и в целом составляет 5%, наиболее же заболочены водосборы рек Быстрицы – 30%, Моломы – 30%, и Пижмы – 15-20%.

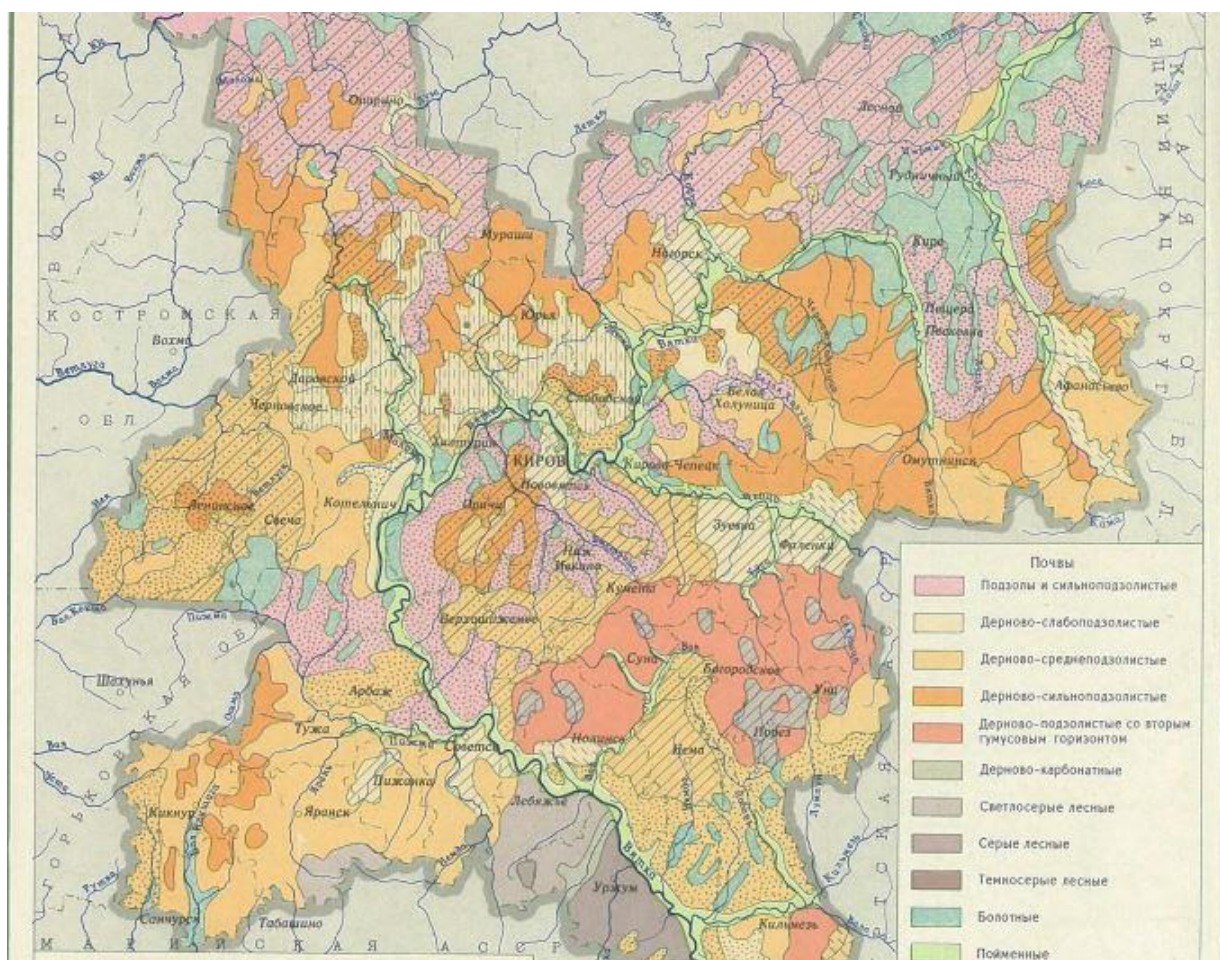


Рисунок 2. Почвенная карта Кировской области

Рельеф

Долина Вятки сложена в основном породами пермского периода, которые представлены преимущественно отложениями татарского яруса. Береговые террасы р. Вятки сложены четвертичными отложениями. В большинстве случаев долина Вятки и долины других рек меридионального направления имеют крутые правые и пологие левые склоны. Объясняется это вращением Земли, вследствие чего вода в реке прижимается к правому берегу, подмывая его. В некоторых местах (ниже г. Советска) асимметрия объясняется геологическим строением местности, а именно – наклоном пластов. Широкая долина некоторых малых рек, например, Шошмы, свидетельствует об их образовании в отдаленное время более мощными потоками. В долинах рек Кировской области встречается от 2 до 4 террас. В долине Вятки может быть до 5 уровней террас, но наиболее распространены и хорошо выражены – 2. Вторая надпойменная терраса хорошо развита в долинах многих рек области. На р. Вятке наибольшей ширины она достигает у п. Медведок, с. Суводь и в низовьях. Высота ее над урезом воды 15-20 м. Первая надпойменная терраса прослеживается прерывистыми полосами по долинам многих рек (Вятки, Чепцы, Кильмези, Пижмы, Уржумки, Немды). Высота ее над урезом воды: 6-12 м. Поверхность ровная и часто заболоченная. Литологический состав от песков и супесей до суглинков и глин. У п. Медведок терраса сложена серыми и желтоватыми песками, ее образование относится к периоду максимального днепровского оледенения. Вся терраса покрыта сосновыми борами.

Пойменная терраса встречается по левобережью вдоль всей Вятки. Сложена она песчано-глинистыми отложениями. Высота ее 3-7 м над урезом, а ширина достигает 10 км. Наибольшая ширина достигается у д. Малая Субботиха, Пермячиха, Мухино. Поверхность террасы неровная. В прирусловой пойме имеются прирусловые валы высотой до 2 м. Сложены они песком, который отлагается во время половодья. Несколько сглажена центральная пойма, но и на ней много округлых, удлиненных

подковообразных понижений. Отдельные из них заполнены водой и представляют собой озера-старицы. В пойме встречаются промоины и возвышения между ними – гривы высотой 1-3 м, расположенные параллельно или под углом к руслу. Наиболее распространены сегментногривистый и параллельно–гривистый типы пойм. Сегментно-гривистый тип поймы формируется в случае активного меандрирования реки. Параллельно-гривистые поймы обычно возникают у крупных рек с широкими долинами. Они обусловлены тенденцией реки смещаться все время в сторону одного из склонов. Это может вызываться в одних случаях влиянием силы Кориолиса, в других – тектоническими движениями. Особенностью рельефа параллельно-гривистых пойм является наличие длинных продольных (параллельных руслу) грив и разделяющих их межгривных понижений. Там, где берег поймы подмывается рекой, основной береговой вал отсутствует, и тогда прирусловая пойма внешне напоминает центральную. Притеррасная пойма представляет пониженную часть. Вследствие выхода грунтовых вод она часто заболочена.

[7]

Направление течения

Свой путь поток начинает в северной части Удмуртии, на Верхнекамской возвышенности, на отметке примерно 240 м над уровнем моря.

Примерно 10 км р. Вятка движется на юго-восток. На границе Удмуртии и Кировской области русло плавно разворачивается на север. Дальше около ста километров Вятка движется параллельно другой крупной реке – Каме. После впадения Большого Кирса Вятка поворачивает на запад.

Примерно 50 км река сохраняет западное направление. Потом плавно отклоняется к юго-западу, чтобы в месте впадения речки Солоня развернуться на северо-запад.

Тут же, за устьем притока Кобра, у поселка Нагорск, Вятка опять поворачивает на юго-запад. Несмотря на частые и резкие изгибы русла, это направление считается основным до впадения Моломы.

От города Котельнич река движется на юг, потом – на юго-запад.

Границу Татарстана Вятка пересекает возле устья Улюшки.

В 17 км ниже города Мамадыш река встречается с Камой, еще через 100 километров – с Волгой.



Рисунок 3. Река Вятка

Притоки

85 притоков впадает в реку Вятка.

Чепца – самый длинный приток – растянулась на 501 км. Она сливается с Вяткой у города Кирово-Чепецка на расстоянии 738 км от устья. Извилистая, полноводная, спокойная (уклон 0,1 м/км), Чепца популярна среди любителей сплавов. Ее питают тающий снег и около 60 притоков.

Ниже места впадения реки Лозы на берегах Чепцы сохранились руины Октябрьской ГЭС, снабжавшей электричеством окрестные поселения и колхозы. Построили ее местные рабочие, почти не используя технику.

Позже, когда появились более экономичные источники электроэнергии, станцию закрыли. Ее развалины превратились в достопримечательность, популярную у туристов-байдарочников и рыбаков.

Приток – Кильмезь. Он присоединяется к Вятке за 222 км от устья. Кильмезь питают около 30 притоков. Эта равнинная река длиной 270 км течет между пологим правым и высоким холмистым левым берегами, которые покрыты густыми хвойными и смешанными лесами. Вода чистая, в ней обитает много рыбы.

Реки Воя и Быстрица спокойны по характеру. Протяженность речек составляет 174 и 166 км.

Справа в Вятку впадают восемь крупных рек.

Молома – второй по длине приток. Она протянулась на 419 км. Протекает с северо-западного края Кировской области на юго-восток до города Котельнич.

Первые километры русло такое узкое, что деревья, растущие по берегам, касаются кронами друг друга. Потом оно постепенно расширяется до 200 м.

На Моломе почти нет поселений, но до сих пор сохранились мельницы, кое-где встречаются язы – запруды для ловли рыбы. Ближе к устью сооружена запань – плавучая инженерная конструкция, которая используется при сплаве леса.

За семь километров от устья реки расположены Шабалинское и Ковровское городища. Эти архитектурные памятники ученые датируют XIV-XVII вв.

Река Кобра имя получила вовсе не в честь ядовитой змеи, хотя извилистое русло длиной 324 км может дать повод к подобным ассоциациям.

Следующий по величине правый приток – Пижма длиной 305 км. На ее берегах найдены следы древних захоронений – могильники Еманавеский и Покстинский, которые относятся к XII – XIV вв.

Раньше река была судоходна, а сейчас обмелела настолько, что по ней запретили проход даже маломерных судов. Исключение составляет водный транспорт, принадлежащий государственным органам.

Длина реки Летки составляет 260 км. Она впадает в Вятку в 804 км от устья. На берегах когда-то работал леспромхоз, по воде сплавляли лес.

Белая Холуница и Великая примерно одинаковы – чуть больше 160 км.

Шошма длиной в 105 км протекает по Татарстану и Кировской области. Она считается памятником природы республики Татарстан.

Буй замыкает список крупных притоков. Его протяженность 92 км.

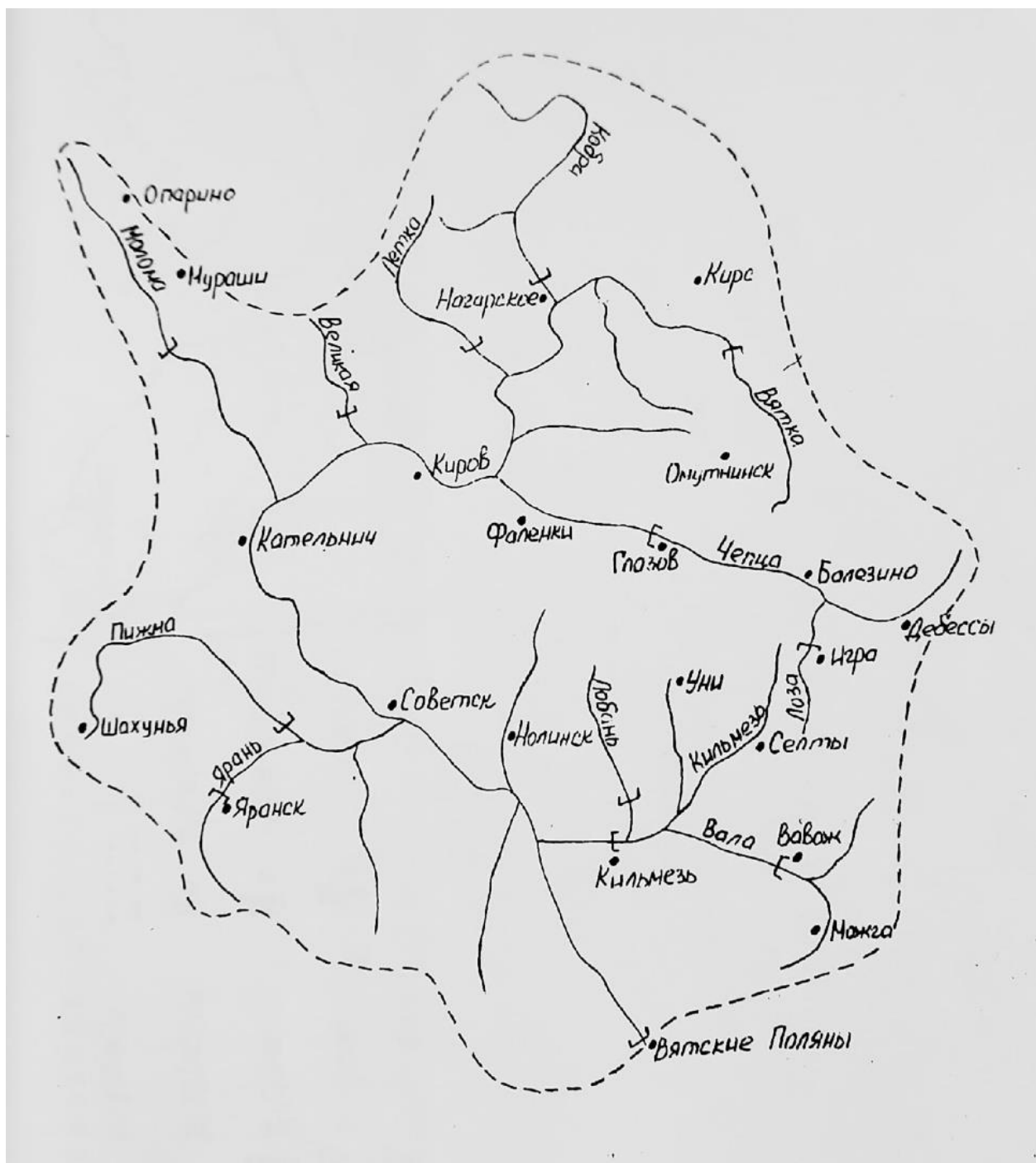


Рисунок 4. Схема бассейна р. Вятки до г. Вятские поляны

Судоходность

С давних времен Вятка вместе с притоками составляла важный водный путь из центра России до Урала.

В XIX в. владельцы судов с большой осадкой долгое время не интересовались Вяткой. Только в 1855 г. с Камы пришел первый пароход.

В 1858 г. на Вятке появились буксиры. Это позволило открыть постоянное движение по реке. В 1874 г. начали перевозить пассажиров.

В советское время Вятка была судоходна от города Слободского. По ней сплавляли лес, везли товары: каменную соль и зерно. На побережье строились предприятия, продукцию которых также транспортировали по воде.

Несмотря на ежегодные работы по очистке и углублению русла, постепенно вырубка лесов, осушение болот и размывание берегов привело к обмелению реки. Перестройка и последующие реформы привели к разорению заводов и фабрик. Сплавать лес тоже стало невыгодно. Судоходство на Вятке прекратилось.

Хотя река как транспортная магистраль в настоящем не востребована, она остается судоходной. Навигация возможна с апреля по октябрь. Во время разливов, в основном весной и осенью, когда глубина увеличивается на 3,5-5,5 метров, можно добраться до села Кирс.

Флора и фауна

Природа на берегах Вятки красива и разнообразна. С пологих склонов, с невысоких горных гряд, в которых образовались многочисленные пещеры, стекают речки, устремляются вниз водопады. Болота сменяются дремучими лесами: лиственными или сосновыми и пихтово-еловыми, характерными для тайги.

Ближе к югу появляются дубы, клены, вязы, липы. Подлесок составляют кусты жимолости, шиповника, рябины, сирени, крушины, можжевельника,

лещины. Нижний уровень заполняют ягодники. В долине реки встречается более 40 видов кустарников и деревьев.

Под сводами леса обитают лоси, зайцы, волки, енотовидные собаки, росомахи, рыси, лисы, куницы, кабаны, бобры, белки, горностаи, норки, хорьки, барсуки и медведи. Из птиц встречаются тетерева, кукушки, дятлы, глухари, рябчики, вальдшнепы, цапли, серые журавли. Возле воды в большом количестве гнездятся водоплавающие птицы: гуси, утки.

На заливных лугах можно встретить до 1100 наименований различных растений. Среди них есть исчезающие виды, например: лекарственная и волжская валериана, сибирский ирис, дубравная ветреница, плауны, камышовый хвощ, надрезной ладьян, вероника крапиволистная, вика гороховидная, чина Гмелина, европейская купальница, сибирский книжник, кувшинка.

На просторах, приближенных по характеристикам к тайге, живут занесенные в Красную книгу северные олени. Кроме них, в области еще 18 видов исчезающих животных, в том числе лесная соня, сибирский углозуб, русская выхухоль, черный аист и пр.

В реке Вятке обитает много рыбы, преимущественно лещ, плотва, линь, чехонь, сом, щука, окунь, судак, карась, стерлядь. [9]

Глава 2 Весеннее половодье и его элементы

Весеннее половодье – характерная особенность годового весеннего режима рек, характеризующаяся быстрым таянием накопленного за зимний период снега. Сток на большинстве рек за данный период составляет 50-70% годового, в остальных же районах даже более 80%. Расходы воды в период весеннего половодья в сотни раз превышают расходы воды в межень, поэтому половодье, как правило, сопровождается разливом рек. В самые многоводные годы разливы рек приобретают характер стихийных бедствий, наблюдается выход воды на пойму, подтапливаются прибрежные территории рек, разливы в такой период наносят большой ущерб народному хозяйству.

Основные элементы, характеризующие половодье это: максимальный расход, сток за половодье, время их наступления, дата начала половодья, наивысший уровень. Сток и другие характеристики половодья отличаются сильной изменчивостью из года в год, поэтому их заблаговременный прогноз носит особый интерес.

Весенний сток, сток за половодье или как еще его называют объем половодья может выражаться в различных единицах: в единицах слоя на площадь бассейна (мм), в единицах объема (м^3 или км^3) и в виде среднего секундного расхода воды за период половодья ($\text{м}^3/\text{с}$). Для воднобалансовых расчетов и разработки методик предпочтительнее использовать единицы слоя, так как в этих же единицах измеряются испарение, осадки, запасы воды в снеге.

Весенний сток имеет некую условность, так как этим подчеркивается не столько календарный период, сколько происхождение стока, или факт его формирования из-за весеннего таяния снега.

В низовьях таких крупных рек как Волга, Кама, Обь и др. весеннее половодье захватывает значительную часть весны-лета. Это связано с

географическим положением и размерами речных бассейнов, и соответственно с продолжительностью стекания весенних талых вод. Характеристикой изменчивости стока является коэффициент вариации, который возможно вычислить по данным многолетних наблюдений. Также уровни воды и максимальные расходы обладают большой изменчивостью.

Определение стока за период половодья требует выполнения расчетов с учетом средних суточных расходов, но другие элементы половодья могут определяться непосредственно из данных наблюдений уровня воды. Но и в том, и другом случае возникают погрешности определения. Погрешности определения максимального уровня и расхода половодья чаще связаны с заторами льда и низкой точностью гидрологических данных за период ледохода. Деление начала весеннего половодья и сроков прохождения максимума стока довольно надежны в выполнении. Трудности возникают при определении сроков окончания весеннего половодья, но погрешности, возникающие по этой причине, невелики.

Глава 2.1 Общие закономерности и факторы весеннего стока

Половодье – это чрезвычайно сложное, многофакторное явление, которое определяется целым комплексом взаимосвязанных природных процессов: поступление воды на поверхности бассейна из-за таяния снега, процесс поглощения, задержания и потерь этой воды, процесс стекания и ее избытка в русловую сеть и к замыкающему створу. К этому также добавляется поток подземных вод в русловую сеть, постоянно питающих реки. Сложность данных процессов состоит в том, что протекают они на обширных пространствах в условиях неоднородности и многообразия окружающей среды – почва, рельеф, растительный покров, глубина залегания подземных вод и пр. Все факторы, которые определяют процессы формирования стока

половодья делятся на две категории: переменные гидрометеорологические и относительно постоянные физико-географические факторы.

К переменным относятся такие факторы как: осадки (интенсивность и количество), запасы воды в снеге, теплообмен, водопоглощающая способность бассейна. Такие факторы определяют, в конечном счете, изменчивость стока и других элементов половодья.

К постоянным факторам относятся конфигурация и размеры бассейна, рельеф, геологическое строение, густота сети, уклоны русел и поверхности, заболоченность, озерность, растительный и почвенный покров.

Любой речной бассейн, с физической точки зрения, представляет динамическую систему, которая в общем виде отображает природу стока, или закономерности его формирования. Применительно к речному бассейну этот закон выражается в виде уравнения водного баланса, которое можно записать с различной степенью детальности по отношению к факторам, участвующим в формировании стока.

Глава 3 Расчет и прогноз слоя стока весеннего половодья с бассейна реки Кобра

Прогноз слоя стока весеннего половодья на малых и средних реках производится по уравнению:

$$Y = S + X - P \quad (1)$$

где Y – слой стока за весеннее половодье; S – запасы воды в снеге (снегозапасы) на начало половодья; X – атмосферные осадки, выпадающие на территории водосбора реки за период снеготаяния и половодья; P – потери стока весеннего половодья, т.е. то количество воды от суммы $(S+X)$, которое расходуется на впитывание воды в почво-грунты, заполнение поверхностных емкостей на поверхности водосбора, испарение. [1]

Все переменные в уравнении (1) определяются в миллиметрах слоя воды.

Прогноз слоя стока за половодье относится к долгосрочным прогнозам, т.е. к прогнозам с заблаговременностью не менее двух недель. Поэтому на дату выпуска прогноза значение осадков, входящих в уравнение (1), неизвестно, и, вынужденно, заменяется их средней многолетней величиной.

Величина потерь P не измеряется независимым способом и может быть определена только как остаточный член уравнения (1). Основной задачей гидролога-прогнозиста является установление зависимостей определенных таким образом потерь, с обуславливающими их факторами. Одним из способов установления таких зависимостей является применение уравнений множественной регрессии, связывающих потери стока с определяющими их факторами

$$P = a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + \dots + a_n * x_n + b \quad (2)$$

где $x_1, x_2 \dots x_n$ – определяющие факторы; $a_1, a_2 \dots a_n$ – коэффициенты уравнения; b – свободный член уравнения.

Объектом наших исследований был водосбор притока реки Вятки – р. Кобра - д. В.Тюрюханы. Весеннее половодье на этой реке проходит в апреле-мае и продолжается в течение 3-4 недель. Отдельные характеристики рассматриваемых водосборов приводятся в таблице 1.

Таблица 1. Отдельные характеристики водосборов бассейна р. Вятки

Река – створ	F, км ²	f, %	(S+X) _{ср} , мм	P _{ср} , мм	Y _{ср} , мм	K	Cv _y	Cv _p
Кобра – д. В.Тюрюханы	7410	90	228	87	141	0,62	0,40	0,21
Кильмезь – д. Вичмарь	16400	65	201	93	108	0,54	0,19	0,39

В таблице 1 приняты следующие обозначения: F – площадь водосбора; f – залесенность водосбора; P_{ср} – средние многолетние потери стока; Y_{ср} – средний многолетний сток за половодье; K – коэффициент стока за половодье; Cv_y – коэффициент вариации стока за половодье; Cv_p – коэффициент вариации потерь.

Статистические данные по потерям и стоку приводятся за период 1959-1980гг. Именно за этот период продолжительностью в 22 года и были проведены исследования в настоящей работе.

По данным, приведенным в таблице 1, видно, что водосборы заметно различаются по величине площади, заселённости и по статистическим характеристикам потерь и стока половодья. Так, на водосборе первой реки высокий коэффициент стока за половодье, сток заметно больше потерь, а изменчивость его меньше изменчивости потерь, о чем говорят их коэффициенты вариации. На второй реке коэффициент стока за половодье заметно ниже, потери заметно больше стока, и изменчивость потерь меньше изменчивости стока. Выбирая из этих двух притоков, мы отдали предпочтение первому.

Следует отметить, что по данным О.И. Крестовского [Расчет и прогноз объема стока весеннего половодья р. Вятки] грунтовые воды на водосборе реки Кобра залегают достаточно близко к поверхности, и поэтому талые воды, пополняющие грунтовые воды, могут частично участвовать в стоке половодья. По тем же данным грунтовые воды на водосборе реки Кильмезь залегают заметно глубже и, поэтому пополнение грунтовых вод за счет талых вод здесь более затруднено, чем на водосборе первой реки. [2]

В таблице 2 приведены исходные данные, необходимые для разработки метода прогноза для реки Кобра.

Таблица 2. Исходные данные для расчета и прогноза слоя стока
половодья реки Кобра

Год	S, мм	X, мм	Σd , гПа	W, мм	Y_{oc} , мм	Y, мм	P, мм
1959	131	65	70	304	21	104	92
1960	166	38	72	310	13	116	88
1961	165	85	86	314	7	138	112
1962	170	46	80	402	13	144	72
1963	160	13	54	347	27	109	64
1964	126	55	56	375	31	104	77
1965	170	56	104	368	34	138	88
1966	185	52	62	350	73	158	79
1967	85	51	90	320	32	69	67
1968	175	118	83	352	19	186	107
1969	136	50	76	302	32	94	92
1970	124	80	90	370	25	151	53
1971	145	74	80	368	33	160	59
1972	199	105	85	345	39	210	94
1973	149	42	110	328	12	94	97
1974	219	190	155	383	52	309	100
1975	124	50	55	286	9	81	93
1976	195	119	125	333	13	191	123
1977	142	59	91	350	15	114	87
1978	144	75	93	333	28	123	96
1979	180	57	151	340	34	169	68
1980	140	62	112	320	10	122	80
Ср.зн	156	70	90	341	26	140	86
σ	30	37	28	29	16	53	18
Cv	0,19	0,53	0,31	0,09	0,61	0,38	0,21

В таблице 2 приняты следующие обозначения: S – запасы воды в снеге на начало снеготаяния; X – осадки за период весеннего снеготаяния и половодья; W – запасы влаги в первом метровом слое почво-грунтов перед началом весеннего снеготаяния; Y_{oc} – речной сток с бассейна реки Кобра за ноябрь и декабрь предшествующего года; Y – слой стока за половодье; P – потери стока. В трех нижних строчках таблицы приводятся соответственно средние значения, стандартные отклонения и коэффициенты вариации переменных, представленных в таблице.

В таблице 3 представлена матрица коэффициентов корреляции между переменными, приведенными в таблице 2.

Таблица 3 Матрица коэффициентов корреляции для реки Кобра

	P	S	X	Σd	W	Y_{oc}	Y
P	1	0,43	0,48	0,22	-0,34	-0,25	0,26
S		1	0,56	0,45	0,36	0,32	0,83
X			1	0,57	0,28	0,22	0,86
Σd				1	0,19	0,07	0,59
W					1	0,36	0,52
Y_{oc}						1	0,42
Y							1

Основываясь на данных этой таблицы, мы попытались рассмотреть три варианта прогноза весеннего половодья р. Кобра.

Вариант 1

Проанализируем данные таблицы 3. Мы видим, что корреляция между потерями стока и другими переменными сравнительно невысокая, коэффициент корреляции по абсолютной величине находится в диапазоне 0,22-0,48. Наиболее тесно потери связаны с осадками за период снеготаяние-половодье $R=0,48$ и наименее тесно с суммой дефицита влажности воздуха за тот же период $R_{P\Sigma d}=0,22$. Все пять переменных (S , X , Σd , W , Y_{oc}) считать в качестве предикторов в уравнении (1) нелогично, поскольку ряды этих переменных достаточно короткие, поэтому коэффициенты a_i в уравнении (2) будут определены с большими погрешностями. Поэтому было решено потери стока представить как $P=f(S, W, Y_{oc})$. Осадки были исключены из рассмотрения по двум причинам. Во-первых, они довольно тесно связаны со снегозапасами ($R=0,54$) и поэтому снегозапасы дублируют часть информации об осадках. Во-вторых, осадки неизвестны на дату выпуска прогноза и в прогнозе их приходится представлять средней многолетней величиной, что, по нашему мнению, может увеличить погрешность прогноза стока за половодье.

С помощью функции “ЛИНЕЙН” в Эксель было получено уравнение множественной линейной регрессии.

$$P = 0,40S - 0,29W - 0,34Y_{oc} + 132 \quad (3)$$

При общем, сравнительно невысоком, коэффициенте корреляции, равными $R=0,74$. Средние квадратичные погрешности коэффициентов a_i и свободного члена b составили соответственно 0,10; 0,11; 0,20; 34. Рассчитанные по формуле (3) значения потерь стока ($P_{расч.}$) приводятся в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Исходные данные и результаты расчета потерь стока,
вариант 1

Годы	S	W	Y _{ос}	P _p	ΔP _p	ΔP ² _p	Y _p	ΔY _p	Y _{пр}	ΔY _{пр}	ΔY ²
1959	131	304	21	89	-3	8	107	3	112	8	62
1960	166	310	13	104	16	259	100	-16	132	16	253
1961	165	314	7	105	-7	55	145	7	130	-8	57
1962	170	402	13	79	7	49	137	-7	161	17	289
1963	160	347	27	86	22	492	87	-22	144	35	1212
1964	126	375	31	63	-14	193	118	14	133	29	835
1965	170	368	34	82	-6	39	144	6	158	20	411
1966	185	350	73	80	1	0	157	-1	175	17	300
1967	85	320	32	62	-5	22	74	5	93	24	561
1968	175	352	19	93	-14	183	200	14	152	-34	1187
1969	136	302	32	88	-4	16	98	4	118	24	579
1970	124	370	25	66	13	164	138	-13	128	-23	520
1971	145	368	33	72	13	171	147	-13	143	-17	291
1972	199	345	39	98	4	18	206	-4	171	-39	1544
1973	149	328	12	92	-5	21	99	5	127	33	1063
1974	219	383	52	91	-9	84	318	9	198	-111	12288
1975	124	286	9	96	3	7	78	-3	98	17	303
1976	195	333	13	109	-14	196	205	14	156	-35	1226
1977	142	350	15	82	-5	23	119	5	130	16	250
1978	144	333	28	84	-12	156	135	12	130	7	56
1979	180	340	34	94	26	668	143	-26	156	-13	165
1980	140	320	10	92	12	139	110	-12	118	-4	14

Средняя квадратичная погрешность определения потерь стока по формуле (3) составила S=12 мм, а отношение S/σ составило 0,67; таким

образом, расчет значений P по формуле (2) производился, хотя и с удовлетворительной, но с относительно невысокой точностью. Вместе с тем, расчет стока за половодье по уравнению (1) при использовании значений P , определенных по уравнению (3), приводит к хорошим результатам. Рассчитанные значения стока ($Y_{\text{расч.}}$) приводятся в таблице 5. Коэффициент корреляции между рассчитанными и фактическими значениями стока составляет 0,98; средняя квадратичная погрешность расчета стока (S) равна 12 мм. Согласно данным таблицы 1, среднее квадратичное отклонение стока за половодье (Y_p) составляет 53 мм.

Откуда получаем $S/\sigma=0,23$. Допустимая погрешность расчета составляет $S_{\text{доп.}}=0,674\sigma=36$ мм. Из данных таблицы 5 видно, что погрешности расчета стока (ΔY_p) ни за один год не превышают эту величину. Таким образом, обеспеченность расчета стока за половодье с применением уравнений (1) и (2) равна 100%.

При прогнозе стока необходимо во всех случаях использовать только среднее многолетнее значение осадков за весеннее половодье, которое согласно таблице 2, для бассейна реки Кобра составляет 70 м.

Результаты прогноза стока за половодье ($Y_{\text{пр}}$) представлены в таблице 5. Коэффициент корреляции между прогнозными и фактическими значениями стока составил 0,86; $S=0,33$ мм; $S/\sigma=0,62$. Обеспеченность прогноза (P) составила $P=91\%$. Качество прогноза удовлетворительное, хотя и не очень высокое. Снижение качества прогноза стока по сравнению с качеством расчета обусловлено заменой фактических осадков, которые обладают большой изменчивостью ($C_{v_y}=0,53$; табл. 2), их средней величиной.

Вариант 2

Данные таблицы 3 показывают, что сток за половодье достаточно тесно коррелирует со снегозапасами, осадками и запасами воды в почве. Поэтому мы попытались также спрогнозировать сток половодья не с помощью уравнения (1), а с помощью уравнения множественной линейной регрессии вида

$$Y = a_1S + a_2X + a_3W + b$$

Мы получим

$$Y = 0,76S + 0,80X + 0,36W - 159 \quad (4)$$

Таблица 5.2. Исходные данные и результаты расчета потерь стока,
вариант 2

Годы	S	X	W	Y _p	ΔY _p	ΔP ² _p	Y _{пр}	ΔY _{пр}	ΔY ²
1959	131	65	304	102	-2	4	106	2	4
1960	166	38	310	109	-7	47	135	19	352
1961	165	85	314	147	9	89	135	-3	7
1962	170	46	402	152	8	60	171	27	725
1963	160	13	347	98	-11	123	144	35	1192
1964	126	55	375	116	12	138	128	24	565
1965	170	56	368	147	9	90	159	21	428
1966	185	52	350	149	-9	77	164	6	31
1967	85	51	320	62	-7	55	77	8	61
1968	175	118	352	195	9	83	157	-29	857
1969	136	50	302	93	-1	1	109	15	227
1970	124	80	370	132	-19	344	124	-27	705
1971	145	74	368	143	-17	293	140	-20	413
1972	199	105	345	200	-10	91	172	-38	1411
1973	149	42	328	106	12	142	128	34	1178
1974	219	190	383	297	-12	136	201	-108	11595
1975	124	50	286	78	-3	8	94	13	174
1976	195	119	333	204	13	176	165	-26	672
1977	142	59	350	122	8	66	131	17	286
1978	144	75	333	130	7	54	126	3	11
1979	180	57	340	146	-23	538	156	-13	164
1980	140	62	320	112	-10	96	119	-3	12

Средние квадратичные погрешности определения коэффициентов уравнения (4) и свободного члена составили соответственно 0,11; 0,09; 0,10; 31, а общий коэффициент корреляции R=0,98.

Рассчитанные значения стока (Y_p) по уравнению (4) приведены в таблице 5.2. Средняя квадратичная погрешность расчета составляет 11 мм; погрешности, превосходящие допустимую погрешность отсутствуют, $S/\sigma=0,21$. Прогнозные значения стока ($Y_{пр}$) определенные по уравнению

$$Y = 0,76S + 0,80X_{ср} + 0,36W - 159 \quad (5)$$

где $X_{ср}$ – среднее многолетнее значение осадков за половодье, в четырех из двадцати двух случаев оказались определены с погрешностями, превышающими допустимую (табл. 5), поэтому обеспеченность данного метода прогноза составляет 91%, при $S/\sigma=0,58$. Таким образом, второй метод прогноза оказывается незначительно лучше первого по критерию S/σ .

Вариант 3.

Мы видим, что использование уравнения (4) приводит к хорошим результатам при расчетах стока за весеннее половодье, а использование уравнения (5), в котором фактические осадки заменяются среднемноголетними значениями, заметно ухудшает результаты определения этого стока. Поэтому нам представлялось интересным выяснить – нельзя ли вообще в данном случае отказаться от использования осадков, нельзя ли вместо уравнения (3) использовать уравнение вида

$$Y = a_1S + a_2W + b \quad (6)$$

Насколько будут отличаться результаты прогноза стока при таком отказе по сравнению с тем случаем, когда при прогнозе используется среднее многолетнее значение осадков?

Было получено уравнение

$$Y = 1,27S + 0,45W - 213 \quad (7)$$

Таблица 5.3. Исходные данные и результаты расчета потерь стока,
вариант 3

Годы	S	W	Y	ΔY	ΔY^2
1959	131	304	90	-14	191
1960	166	310	137	21	455
1961	165	314	138	0	0
1962	170	402	184	40	1584
1963	160	347	146	37	1395
1964	126	375	116	12	139
1965	170	368	169	31	930
1966	185	350	179	21	460
1967	85	320	39	-30	903
1968	175	352	168	-18	337
1969	136	302	96	2	3
1970	124	370	111	-40	1602
1971	145	368	137	-23	541
1972	199	345	195	-15	226
1973	149	328	124	30	890
1974	219	383	237	-72	5115
1975	124	286	73	-8	61
1976	195	333	185	-7	42
1977	142	350	125	11	118
1978	144	333	120	-3	11
1979	180	340	169	0	0
1980	140	320	109	-13	174

При среднеквадратических погрешностях коэффициентов a_i и свободного b соответственно 0,22; 0,22; 72 и коэффициенте корреляции, равном 0,86. Результаты прогноза стока за половодье ($Y^3_{пр}$) приведены в таблице 5.3. Средняя квадратичная погрешность прогноза составляет 26 мм, $S/\sigma=0,49$. Обеспеченность метода прогноза равна 82%.

В таблице приводится сравнение результатов прогноза стока за половодье по всем вариантам прогноза.

Таблица 6. Статистические характеристики вариантов прогноза стока

	R	σ , мм	S/σ	P, %	S, мм	Наиб. откл., мм
Вариант 1	0,86	53	0,62	91	33	-111
Вариант 2	0,86	53	0,58	91	31	-108
Вариант 3	0,86	53	0,49	82	26	-72

Данные сводной таблицы 6 показывают, что коэффициенты корреляции (R) между прогнозными и фактическими значениями стока для всех вариантов одинаковы; обеспеченность прогноза (P) по двум первым методам несколько выше, чем по третьему методу; наименьшая средняя квадратичная погрешность (S) и отношение (S/σ) наименьшее у третьего варианта и заметно меньше значение максимальной по модулю погрешности прогноза также у третьего метода.

По-видимому, предпочтение нужно отдать двум последним вариантам, по ряду причин. Во-первых, коэффициенты уравнений (5) и (7) более устойчивые, чем в уравнении (3). Во-вторых, у них выше показатели качества прогноза (S, S/σ , наиб.откл.).

Второй и третий варианты могут конкурировать между собой: у второго несколько выше обеспеченность прогноза, но зато у третьего варианта лучше показатель S/σ , и заметно меньше максимальная погрешность прогноза за 22-х летний период.

Глава 4 Прогноз по независимым материалам

Во всех трех вариантах прогноза слоя весеннего половодья, рассмотренных выше, расчеты и прогнозы стока проводились на основе тех исходных данных, по которым определялись значения параметров уравнений, т.е. расчеты и прогнозы осуществлялись на так называемом зависимом материале. Однако, полученные уравнения предназначаются для прогнозов за будущие весенние половодья, и тогда в эти уравнения будут подставляться значения параметров, которые не участвовали при определении параметров уравнений. Приведенные выше оценки качества метода прогнозов, получены на зависимых данных, могут оказаться существенно завышенными. Поэтому желательна проверка методики прогноза на независимых данных. В нашем распоряжении были достаточно короткие ряды исходных данных, поэтому не было возможности оставить для проверки метода на независимых данных более или менее продолжительный ряд. В таком случае параметры прогностических уравнений определялись бы по достаточно коротким рядам и были бы неустойчивы. Поэтому проверка методом прогноза на независимых данных в нашей работе не проводилась.

Заключение

На основе имеющихся исходных данных мы попытались рассмотреть несколько вариантов методик прогноза весеннего половодья р. Кобра. В первом варианте расчет был произведен с использованием таких предикторов уравнения, как запаса воды в снеге, запаса влаги в метровом слое почвы и стока за октябрь-ноябрь предыдущего года. Во втором варианте мы попытались напрямую, минуя уравнение (1), связать сток с осадками за период снеготаяния и половодья, влагозапасами почвы и снегозапасами. В третьем варианте было решено отказаться от использования осадков в качестве предиктора уравнения, и мы использовали только запасы воды в снеге и запасы влаги в метровом слое почвы. При проведении расчетов и прогнозов стока половодья на зависимых данных за период 1959-1980 были получены хорошие и удовлетворительные статистические оценки расчета и прогноза стока весеннего половодья при использовании всех трех вариантов.

При расчете стока средняя квадратическая погрешность по первому варианту составила 12 мм, по второму 11 мм, по третьему 26 мм, Отношение δ/σ характеризующее точность прогноза составило соответственно 0,23; 0,21 и 0,49. Оправдываемость метода расчета в первом и втором варианте составила 100%, а в третьем 82%.

При прогнозе слоя стока на зависимых данных средняя квадратическая погрешность прогноза по первому варианту составила 33 мм, по второму 31 мм, а по третьему 26 мм. Отношение δ/σ характеризующее точность прогноза в первом случае 0,62; во втором 0,51; в третьем 0,49. Обеспеченности прогноза соответственно составили 91%, 91% и 82%.

Исходя из полученных результатов исследования предпочтение нужно отдать двум последним вариантам по ряду причин. Во-первых, коэффициенты уравнений (5) и (7) более устойчивые, чем в уравнении (3). Во-вторых, у них выше показатели качества прогноза (S , S/σ , наиб. откл.).

Второй и третий варианты могут конкурировать между собой: у второго несколько выше обеспеченность прогноза, но зато у третьего варианта лучше показатель S/σ , и заметно меньше максимальная погрешность прогноза за 22-х летний период. Таким образом, исходя из всего вышесказанного, мы делаем вывод о том, что все три варианта более или менее пригодны для определения и прогноза стока весеннего половодья на данном речном бассейне.

Список использованных источников

1. Аполлов Б. А., Калинин Г. П. и Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометиздат, 1974
2. Крестовский О.И. Расчет и прогноз объема стока весеннего половодья р. Вятки. – Труды ГГИ, 1977, вып.233, с.15-26
3. Крестовский О.И. Опыт расчета и прогноза элементов водного баланса половодья р. Вятки. – Труды ГГИ, 1977, вып.233, с.3-14
4. Крестовский О.И., Дербизова С.Б., Хатькова Н.П. Различия в формировании весеннего стока в лесной зоне ЕСТ. – Труды ГГИ, 1979, вып.259, с.3-14
5. Постников А.Н. О возможности расчета и прогноза поля стока весеннего половодья (на примере р.Вятки). – в кн.: вопросы гидрологии суши. Доклады конференции молодых ученых и специалистов. – Л.: 1985, с.94-98
6. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Вып. 1. Кама / под ред. В. В. Николаенко. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 324 с.
7. Щукина К.В. Растительность поймы реки Вятка в пределах Кировской области
8. Вятка (Река) – Россия – Планета Земля. Историческая география [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geosfera.org/evropa/russia/2262-vyatka.html> / (дата обращения: 20.05.2022).
9. Oreke.ru "Портал про реки" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://oreke.ru/evraziya/rossiya/reka-vyatka> (дата обращения: 20.05.2022).