

Л. К. ПОПЕНКО

К ВОПРОСУ О МИНИМАЛЬНОМ СТОКЕ РЕК КАРЕЛИИ

Изучение режима рек меженного периода и определение научно обоснованных расчетных характеристик минимального стока имеет важное значение для правильного и наиболее эффективного использования вод в ряде отраслей народного хозяйства. До сих пор в качестве расчетных характеристик минимального стока принимались наблюдаемые значения минимумов стока (величина и время наступления, изменчивость), являющиеся генетически разнородными величинами. Эти обстоятельства не позволяли подойти к разработке надежных методов расчета и прогноза меженного стока для конкретных условий.

Задачей настоящей работы является анализ формирования меженного стока и определение генетически однородных характеристик минимального стока. Учитывая, что для зоны избыточного увлажнения вопрос о минимальном стоке почти не исследован и окончательно не решен, автор предлагает некоторые приемы для определения минимальной водоносности рек Карелии.

СЕТЬ СТОКОВЫХ СТАНЦИЙ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В качестве исходных материалов по меженному стоку рек КАССР использованы данные ежедневных расходов воды по 87 стокowym пунктам, из которых 44 расположены на реках бассейна Белого моря и 43 на реках бассейна Балтийского моря. Имеющиеся материалы (2, 3, 9) по этим пунктам освещают режим речного стока за весь период наблюдений по 1954 г. включительно с площади, составляющей $\frac{3}{4}$ всей территории Карельской республики.

Стокoвая сеть расположена на территории республики крайне неравномерно и имеет сравнительно короткий период наблюдений. Из 87 пунктов лишь на двух период наблюдений превышает 25 лет. Основная масса — 60 стокoвых пунктов имеют наблюдения, не превышающие 10-летний период. Стокoвые материалы, приуроченные к меженному периоду рек, обладают относительно небольшой точностью. Особенно низкую точность имеют величины суточных минимумов, определение которых сопряжено с накоплением случайных и систематических ошибок при определении уровней воды, измерении расходов, при снятии расхода с кривой $Q=f(H)$ и, особенно, при экстраполяции этой кривой.

Значительное искажение получают минимальные расходы зимней межени за счет приближенности подсчета зимнего стока (по переходным коэффициентам) и невозможности полностью учесть влияние зашуго-

ванности русел рек на величину стока. По этой причине в отдельные годы наблюдаются случаи явного несоответствия расходов по длине рек. Искажение стока между смежными постами за счет зажорных явлений достигает 50—70 и более процентов. Значительно искажает подсчет стока наличие лесосплавных плотин. В практике при отсчете уровней воды на стоковых постах часто не учитывается фаза суточного режима стока и время добегания паводочной волны от водосборной плотины. Это приводит к тому, что вычисленные средние суточные, иногда и средние месячные, расходы воды в двух пунктах одной и той же реки дают отрицательное приращение стока.

Так, на р. Олонке на верхнем посту (д. Торосозеро) суточный сток в отдельные дни превышает в 3—5 раз сток реки в низовьях (д. Чимилица). Основная причина этого несоответствия — снятие расхода с кривой $Q=f(H)$ не по величине среднего взвешенного уровня воды за сутки, а по величине уровня воды в момент наблюдений. Ухудшают качество и точность стоковых материалов неудачно выбранные места гидростворов. Подпор уровней на постах от впадения притоков, сгонные явления на озерах в отдельные периоды создают кажущееся уменьшение стока рек, а иногда и полное отсутствие стока (р. Олонка, г. Олонец; р. Ухта, с. Ухта и др.). Все это заставляет критически и очень осторожно подходить к оценке водности рек в межень и вызывает необходимость найти такие приемы учета их меженной водоносности, которые имели бы в своей основе не только лишь наблюденные (либо вычисленные) минимумы стока, но и учитывали общий режим стока межени.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ОБЩИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА РЕК КАРЕЛИИ

Территория Карелии (площадь 173,3 тыс. км²) находится в зоне избыточного увлажнения и занимает северо-запад Европейской части СССР. В результате тектонической и ледниковой деятельности ландшафт страны приобрел моренный и озерно-моренный характер. Гидрографическая сеть представлена многочисленными озерами, болотами и речными протоками, связывающими озера в единые озерно-речные системы.

Наличие на территории республики громадной площади, занятой озерами (около 16 000 км², или около 10% всей площади) и болотами (свыше 30%), при высокой лесистости суши создает особые условия формирования стока рек.

Климатические и местные ландшафтные условия обеспечивают высокий коэффициент стока (около 0,6—0,8) и значительную водоносность рек (средний для Карелии модуль годового стока составляет около 10 л/сек с км²). Реки Карелии принадлежат к типу смешанного питания с преобладанием снегового.

В течение весеннего половодья (май-июнь) в среднем на реках проходит объем воды, составляющий около 50% годового стока, значительную часть которого составляют талые снеговые воды. Существенным источником питания рек являются дождевые осадки, достигающие 70% годового количества осадков.

В Карелии наблюдается почти повсеместное распространение верхних грунтовых вод, неглубоко залегающих и связанных с поверхностными и болотными водами. Наличие поверхностных аккумуляторов влаги в бассейнах рек играет значительную роль при формировании стока, его изменчивости и внутригодовом распределении.

Реки Карелии обладают высокой естественной зарегулированностью ($\varphi=0,63-0,81$) стока. На формирование стока рек Карелии, кроме общих климатических факторов, влияют местные ландшафтные условия, которые сказываются на трансформации стока, на его перераспределении во времени. Типичный для рек Карелии гидрограф стока имеет четыре фазы водного режима: зимняя межень, весеннее половодье, летне-осенняя межень и период осеннего повышенного стока. Эти черты вод-

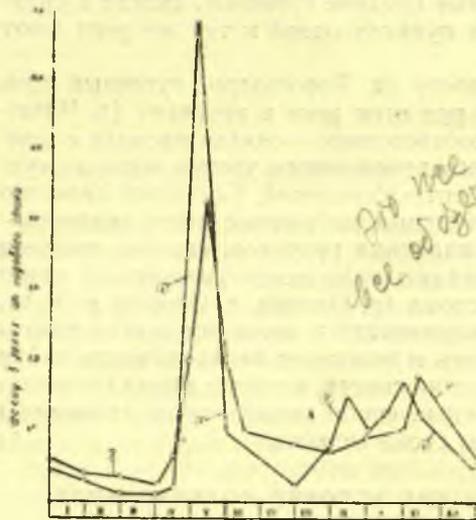


Рис. 1. Типовые гидрографы стока рек КАССР с различной озерностью водосборов.

1 — реки с озерностью водосборов 0—5%; 2 — реки с озерностью водосборов 10—15%.

ного режима присущи всем рекам, но в зависимости от степени естественной зарегулированности водоносности отдельных фаз экстремные величины ее меняются. Для рек, слабо зарегулированных (0—5% озерности), минимум водоносности в зимний сезон составляет всего 0,1—0,15 от годовой нормы стока, а расходы весеннего половодья превышают средний годовой расход в 6—8 раз. Для рек, сильно зарегулированных, величина минимального стока повышается до 0,3—0,4 от среднего годового, а расходы весеннего половодья всего в 2—2,5 раза превышают значения среднего годового стока. Кроме того, происходит расплывание паводка, что ведет к повышенному стоку летней межени (рис. 1).

Сток зимней межени для многих рек Карелии определяется водностью осеннего периода предшествующего года. Озера, осуществляя естественное регулирование стока, аккумуляция вод, воздействуют на характер режима стока межени, изменяя продолжительность и величину стока меженного периода.

Косвенной характеристикой водообеспеченности рек в меженный период может служить величина годового базисного стока, вычисляемого по срезке гидрографа. Величина базисного стока, подсчитанная в долях от годового стока (μ), колеблется для рек Карелии в пределах от 0,14 до 0,50. С увеличением естественной зарегулированности стока и величины площади водосбора (F) значения μ увеличиваются. Как правило, для рек Карелии существует хорошо выраженная связь между поверхностным ($Q_{\text{пов}} = Q_{\text{год}} - Q_{\text{баз}}$) и годовым стоком. Так, для р. Кемь (п. Подужемье) коэффициент корреляции между $Q_{\text{год}}$ и $Q_{\text{пов}}$ составляет $r=0,97 \pm 0,0086$. В то же время необходимо отметить отсутствие связи между средним годовым стоком рек и стоком межени. Это указывает на то, что фазы стока поверхностного и базисного (подземного) значительно не совпадают во времени и воздействие на них метеорологических условий различно. Следовательно, рассматривать взаимосвязно величины стока годового и меженного за отдельные годы невозможно.

ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК МЕЖЕННОГО ПЕРИОДА

Внутригодовое распределение стока рек Карелии определяется условиями питания, зависящими главным образом от таких климатических факторов, как количество осадков и их распределение в течение года, температура и гигрометрическое состояние воздуха и инфильтрационные свойства почво-грунтов.

На реках Карелии наблюдаются два меженных периода стока — зимний и летне-осенний. В зимний меженный период наступление минимальных расходов наблюдается в сравнительно короткий промежуток времени (март-апрель). Наступление летне-осенних минимумов стока характеризуется большей пестротой (август-сентябрь-октябрь). Режим стока меженного периода определяется режимом притока в речную сеть (грунтовый сток — $q_{гр}$, сток из поверхностных аккумуляторов влаги — $q_{ак}$, сток паводков — дождевых и оттепелей — $q_{пав}$, сток добавочный за счет пополнения запасов влаги в наземных аккумуляторах влаги и в грунтовых водах — $q_{п.з}$) и интенсивностью потерь стока (P) на ледообразование, испарение и инфильтрацию (рис. 2):

$$q_{меж} = f(q_{гр}, q_{ак}, q_{пав}, q_{п.з}, P)$$

Минимальный сток наблюдается в момент наступления наименьших величин, формирующих меженный сток ($q_{гр}$, $q_{ак}$, $q_{пав}$, $q_{п.з}$) при наибольшей интенсивности потерь стока. Разнообразие гидрологических и метеорологических условий в конкретные годы в одном и том же речном бассейне обуславливает и различное сочетание наименьших величин, формирующих сток межени, а также время их наступления. Это, в свою очередь, определяет пестроту наступления и величин наименьших значений стока.

Минимальным стоком принято называть наименьшую водность рек в период межени, обусловленную для большинства рек грунтовым питанием. Однако в условиях Карелии, обладающей значительными запасами аккумулярированной влаги в виде вод озер и болот, большинство рек имеют высокую естественную зарегулированность стока. Естественно, что значительная роль в формировании меженного стока рек принадлежит водам, сбрасываемым поверхностными аккумуляторами влаги. Режим стока межени различен для рек, отличающихся степенью естественной зарегулированности стока, и определяется объемом аккумулярированных вод в бассейнах рек.

Генезис летней и зимней межени различен. Зимой реки получают питание за счет грунтовых вод и сброса остатков аккумулярированных вод из озер. Значительная часть стока этого периода теряется (временно) в

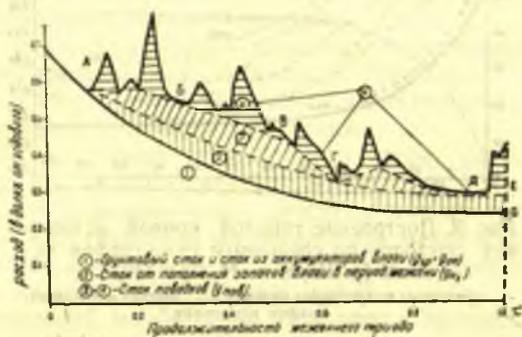


Рис. 2. Схематический гидрограф межени и его составляющие.

Н — наблюдаемый гидрограф межени; АГДЕ — срезочный гидрограф межени; АО — базисный сток межени (кривая истощения расходов).

процессе ледообразования в озерах и болотах (10—20% от среднего годового стока).

Летняя межень для большей части рек представляет на гидрографе нижнюю часть спада половодья и значительно завышена по сравнению с зимними минимумами. Для меженного периода характерно общее снижение расходов от начального периода межени к концу ее и наличие паводков (дождевых и от оттепелей), которые зачастую накладываются друг на друга и тем самым значительно искажают режим стока межени.

Между величиной осадков летне-осеннего периода и стоком за этот же период имеется определенная зависимость. В отдельные годы особые метеорологические условия оказывают настолько сильное влияние на водный режим карельских рек (паводки от оттепелей и летних осадков), что иногда меженный период как таковой на реках вовсе не наблюдается.

Учитывая, что в настоящее время по каждому фактору, формирующему сток межени, отдельное детальное изучение и сопоставление

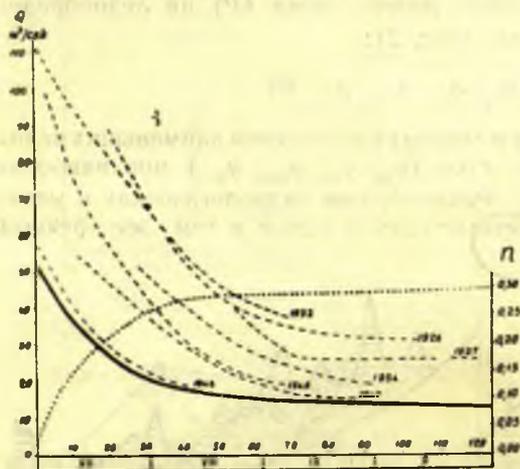


Рис. 3. Построение типовой кривой истощения расходов по срезочным гидрографам межени (р. Шуя, п. Н. Бесовец)

--- срезочные гидрографы межени; — кривая истощения;
..... график изменения.

характер изменения водности меженного периода и складывается из стока воды, аккумулированной в озерах и верхних слоях литосферы (рис. 3).

Для одного и того же речного бассейна характер базисного гидрографа межени будет зависеть от начальных запасов аккумулированных вод, определяющих значение q_0 (расход в начальный момент истощения аккумулированных вод) и от характера распределения и величины осадков в меженный период.

В 1954 г. нами проведены полевые гидрометрические работы с целью выявления распределения меженной водоносности по длине рек. Эти работы показали, что характер приточности и плотности речной сети в бассейне и различная степень водоподачи в руслах рек в межень вызывает несоответствие во времени отдельных частей фазы меженного стока главной реки и ее притоков. Это обстоятельство сказывается на ве-

провести невозможно, в основу анализа меженного стока принят гидрограф стока. Гидрограф стока исключает факторы потерь и показывает лишь ход суммарного притока вод в речную сеть. При анализе гидрографа меженного стока рек можно выделить характерные точки (глубокие частные минимумы) на нем. Огибающая линия, соединяющая эти точки, показывает характер изменения стока реки в период межени при условии отсутствия дополнительного поверхностного стока, вызываемого дождями (летом) и оттепелями (зимой). Получаемый срезочный гидрограф межени или базисный гидрограф межени показывает общий

личине и времени наступления минимальных расходов в различных частях речных систем.

Интенсивность поступления в речную сеть подземных вод, вод, аккумулярованных в речной сети (озерное и русловое регулирование), и характер изменения потерь определяют величину минимального стока. Интенсивность подачи подземных вод в речную сеть в период межени определяется запасами этих вод, расчлененностью бассейна речными руслами и интенсивностью самого стока подземных вод (коэффициент фильтрации).

Ни одна из характеристик речного бассейна (ни среднегодовой сток, ни величина водосбора и т. п.) без учета гидрогеологических условий не может быть признана как основной индикатор минимального стока.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИМАЛЬНОГО СТОКА

Основными характеристиками минимального стока рек являются время его наступления и величина. Принимаемые ранее минимумы расходов (модуль стока) летней и зимней межени, наблюдавшиеся в различные моменты меженного периода, являются генетически разнородными величинами. Абсолютные минимальные расходы нередко носят случайный характер, так как зазоры, оттепели и дождевые паводки нарушают режим стока межени и значительно искажают величину меженного стока.

При выборе расчетных характеристик минимального стока приняты следующие условия:

а) величина и время наступления минимальных расходов для летне-осеннего и зимнего периодов рассматриваются отдельно;

б) величина стока должна характеризовать меженное состояние реки и относиться к одной определенной фазе меженного периода;

в) период, для которого рассматривается величина минимального стока, должен обладать значительной продолжительностью.

За величину среднего низкого месячного стока принят сток реки, обусловленный водоподачей в русла из аккумуляторов влаги при условии отсутствия поверхностного стока, вызываемого дождями или другими факторами. В качестве расчетных периодов минимального месячного стока приняты для зимы — апрель, для лета — октябрь (реки бассейна Белого моря) и сентябрь (реки бассейна Балтийского моря).

В условиях Карелии единственный возможный путь учета питания рек в меженный период — это нахождение обобщающей (суммарной) характеристики истощения запасов вод (подземных и поверхностных), участвующих в питании рек.

Практически задача решается построением типовой кривой «истощения» расходов межени. Для построения кривой истощения применен способ огибающей кривой, которая строится на основании фактических срезочных гидрографов межени отдельных лет (рис. 3). Предлагаемая кривая, свойственная фиктивному году с наихудшими гидрологическими условиями, и отражает динамику хода меженного стока при отсутствии дождевых паводков в летний и паводков от оттепелей в зимний периоды. Анализируя кривую истощения, можно видеть, что интенсивность изменения расходов во времени различна, а расход в любой точке типовой кривой истощения пропорционален начальному расходу (q_0) и обратно пропорционален времени (τ) от начального момента истощения. Общее

аналитическое выражение кривой истощения имеет вид $q_{\text{меж}} = \frac{q_0}{\tau^n}$ или $q_{\text{меж}} = q_0 \tau^{-n}$, где $q_{\text{меж}}$ — расход в любой точке кривой истощения, q_0 — начальный расход, τ — время (в днях) от начала меженного периода, n — показатель степени, характеризующий интенсивность водоподачи в русла рек во времени.

Имеющиеся параметры типовой кривой истощения для данного створа реки ($q_{\text{меж}}, q_0$) позволяют определить и построить график изменения n во времени (рис. 3).

Логарифмируем уравнение $q_{\text{меж}} = q_0 \tau^{-n}$:

$$\lg q_{\text{меж}} = \lg q_0 - n \lg \tau, \text{ отсюда } n = \frac{\lg q_0 - \lg q_{\text{меж}}}{\lg \tau}.$$

С кривой истощения расходов снимаем значения $q_{\text{меж}}, q_0$ и τ и определяем значения n для любого момента времени. Так как n характеризует

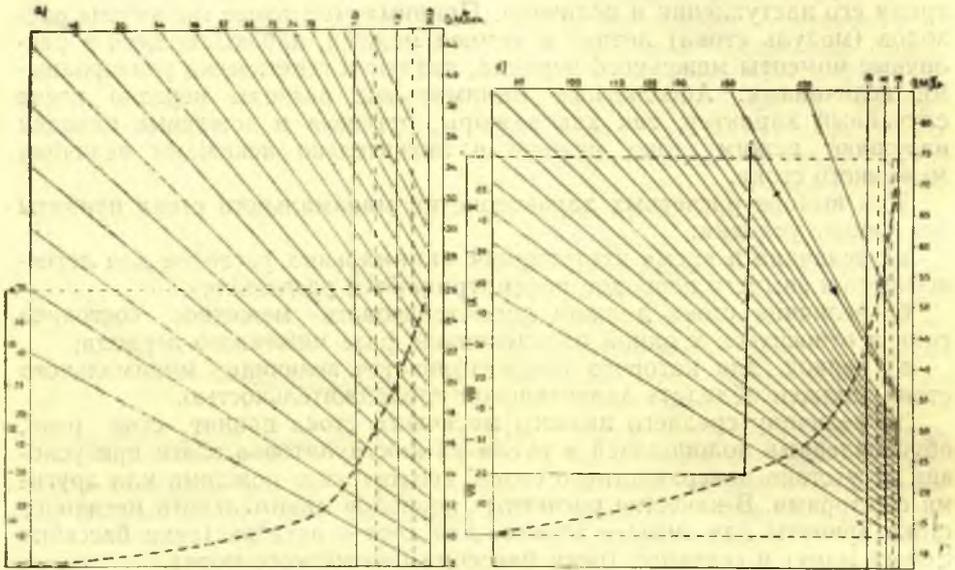


Рис. 4. Номограммы кривых истощений расходов воды зимней и летней межени (р. Шуя, п. Н. Бесовец).

а — зимняя межень; б — летняя межень.

интенсивность водоподачи в русла рек для бассейна, замыкаемого одним и тем же створом, то изменение n во времени должно быть одинаковым как для типовой кривой истощения, так и для кривой истощения данного года.

Расчет среднего месячного минимального стока производится либо по формуле ($\lg q_i = \lg q_0 - n_i \lg \tau_i$) либо по номограмме (рис. 4), которая представляет серию кривых истощений для данного створа реки, построенных при разных величинах первоначального расхода (q_0). Минимальный месячный сток определен для летней и зимней межени по 37 стоковым постам.

МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК КАРЕЛИИ И МЕТОДЫ ЕГО РАСЧЕТА

Минимальный сток рек Карелии имеет довольно пестрый характер. Зимние минимумы, как правило, изменяются в пределах от 5,0 до 2,0 л/сек км², а для малых рек (с водосбором менее 1 тысячи км²) колебания еще более значительны.

Летние модули стока для многих рек намного превышают зимние минимумы. Между минимальными расходами зимней (q_3) и летней (q_n) межени и протяженностью речной сети (L) существует определенная зависимость:

$$\lg q_3 = 1,25 \lg L - 2,85$$

$$\lg q_n = 1,25 \lg L - 2,62$$

Отклонения отдельных точек от средних линий связи вызваны различной степенью водоподачи в русла рек в меженный период. Величина водоподачи в межень зависит от общих запасов аккумулированных вод в бассейне реки, определяющих величину базисного стока, и степени дренирования поверхности бассейна гидрографической сетью (реки, озера). Это позволяет провести разделение территории республики по величине поступающей воды в русла рек на единицу их протяженности, т. е. по т. н. «удельному русловому модулю» минимального стока

$$r' = \frac{q_{\text{мин}} \cdot 1000}{L'} \text{ (л/сек км)}, \text{ где } L' \text{ — приведенная длина рек в бассейне}$$

$$L' \text{ (} L' = r' F_{\text{бас}} \text{ при } r' = \frac{L}{F_{\text{бас}} - F_{\text{оз}}}).$$

Значения удельных русловых модулей минимального стока (r') могут быть нанесены на карту и использованы в качестве параметра, характеризующего различные условия разгрузки (водоподачи) вод в речную сеть в период межени (рис. 5).

Анализ сравнения распределения по территории республики значений r' и карты природных районов Карелии («Карельская АССР, 1956») показывает, что между ними много общего. Как природные районы, так и распределение по территории r' определяются главным образом рельефом (высотой местности) и местными ландшафтными условиями, из которых основная роль принадлежит почвенно-грунтовым и гидрогеологическим.

Значение r' повышается с увеличением высоты местности (до 15—20 л/сек км) и резко снижаются в низменных районах с повышенной заболоченностью (2—5 л/сек км). Это позволяет считать, что намеченная схема распределения удельного руслового модуля минимального стока отражает в общих чертах изменение по территории Карелии условий, определяющих водоподачу в русла рек в межень.

Расчет модуля минимального стока можно производить по формуле $m = r' \times A$, где r' — снимается с карты, A — параметр, учитывающий гидрографические особенности речного бассейна (площадь водосбора, плотность речной сети, величину озерности бассейна).

Величина A , в среднем для Карелии, составляет около 0,3 и изменяется в пределах 0,17—0,60. Значение параметра A можно подсчитать по следующим формулам:

$$1. A = \frac{L}{F_{\text{бас}} - F_{\text{озер}}} = \frac{L}{F_{\text{суши}}}, \text{ где } L \text{ — протяженность речной сети}$$

в бассейне реки, $F_{\text{суши}}$ — площадь суши в бассейне ($F_{\text{бас}} - F_{\text{озер}}$).



Рис. 5. Схематическая карта распределения удельного руслового модуля минимального стока (r') в Карелии по зонам (л/сек. км). Для зимы: I—2—5; II—5—10; III—10—15; IV—10—15; V—5—10; Va—10—12; VI—3—5. Для лета: I—3—5; II—10—15; III—15—20; IV—10—15; V—10—15; Va—15—17; VI—3—5.

$$2. A = \frac{L'}{F_{\text{бас}}}, \text{ где } L' = \rho \cdot F_{\text{суши}} \left(\rho - \text{плотность речной сети в бассейне} = \frac{L}{F_{\text{бас}}} \right).$$

Наибольшие ошибки значений нормы модулей минимального стока, вычисленных по формуле и наблюдаемых по кривым истощений, не превышают $\pm 15\%$.

Принятая в качестве основной характеристики минимального стока норма стока, подсчитанная по кривым истощений расходов межени, является более гибкой и дает более осторожное решение задачи, чем норма наблюдаемых минимумов. В качестве приближенных оценок изменчивости минимального стока можно предложить уравнение, снимаемое с графика связи между коэффициентами изменчивости годового $C_{\text{вр}}$ и минимального стока летней и зимней межени: $C_{\text{вм.л.}} = 0,70 + 5,0 C_{\text{вр}}$ и $C_{\text{вмз}} = 7,0 C_{\text{вр}}^2$. Величина среднего отклонения коэффициентов вариации по этим уравнениям достигает до $\pm 40\%$ для лета и до $\pm 24\%$ для зимы.

ВЫВОДЫ

1. Анализ формирования минимального стока показывает, что в условиях Карелии величина минимального стока и время его наступления обусловлены почвенно-грунтовыми, климатическими и ландшафтными условиями (озерность, заболоченность, высота и рельеф местности). Поэтому ни одна из характеристик речного бассейна (среднегодовой сток, величина площади водосбора и т. п.) без учета условий разгрузки вод в речную сеть в течение межени не может быть положена в основу расчета минимального стока.

2. Формирование минимальной водоносности рек различно для летнего и зимнего меженных периодов. Режим стока межени определяется начальными запасами аккумулированной влаги в бассейне (поверхностная и подземная аккумуляция) и гидрометеорологическими условиями меженного периода.

3. Наблюдаемые минимумы стока большей частью находятся в разной фазе меженного периода, что определяет их генетическую неоднородность.

4. Для определения минимального стока, однородного по происхождению, предлагается использовать кривую истощения меженного стока. Вычисленные расходы воды по кривым истощений на конечный период межени являются хорошо обеспеченными и позволяют с достаточной степенью надежности вычислять минимумы летней и зимней межени.

5. Норма минимального стока зависит от средней величины водоподачи в руслу рек на единицу их протяженности, т. е. определяется удельным русловым модулем минимального стока (r' — л/сек км). Русловой модуль минимального стока, характеризуя условия разгрузки вод в речную сеть в межень, обладает определенной закономерностью в распределении по территории республики.

6. Расчет нормы минимального стока летней и зимней межени производится по формуле $m = r' \times A$, где r' — снимается с карты, параметр A вычисляется по гидрографическим данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Н. Д. Минимальный сток рек СССР. Тр. НИУ ГУГМС СССР, сер. 4, вып. 2, 1941.
2. Гидрологические ежегодники. Бассейн Балтийского моря. Т. I. Вып. 0—3, Гидрометеоздат, Л., 1936—1952.
3. Гидрологические ежегодники. Бассейн Белого и Баренцева морей. Т. О., вып. 0—9. Гидрометеоздат. Л., 1936—1952.
4. Д а н о в и ч Д. А. Анализ минимального стока и обуславливающих его факторов на примере рек Белорусской ССР. Тр. ГГИ, вып. 27 (81), Л., 1950.
5. Карельская АССР. Под ред. А. А. Григорьева, А. В. Иванова. Географиз, М., 1956.
6. Кочерин Д. И. Низкие и наименьшие расходы воды рек Европейской части СССР. Тр. Моск. ин-та транспорта, вып. 11, М., 1929.
7. Кудров А. Г. К вопросу изучения минимального стока малых рек. Метеорология и гидрология, № 1, 1954.
8. Малявкин А. Н. Геолого-гидрологический очерк Карелии и характеристика речного стока. Уч. зап. К-Ф гос. ун-та, т. I, Петрозаводск, 1946.
9. Материалы по режиму рек СССР. Водный кадастр СССР. Под ред. Д. Л. Соколовского, тт. 3 и 4. Гидрометеоздат, М.—Л., 1940.
10. Норватов А. М. Минимальный сток малых рек в связи с подземным питанием. Тр. ГГИ, вып. 27(81), Л., 1950.
11. Поляков Б. В. Количественная оценка подземных вод с помощью уравнения водного баланса. Изв. АН СССР, ОТН, № 2, 1946.
12. Распопов М. П. Районирование подземных вод равнины Европейской части СССР по условиям их стока в реки. Тр. ГГИ, вып. 27(81), Л., 1950.
13. Соколов А. А. Влияние озерного регулирования на величину минимального стока рек. Тр. ГГИ, вып. 43(97), Л., 1954.
14. Сотченко О. М., Чиппинг Г. О. Минимальный сток. Гидрологические расчеты для рек УССР. Под ред. А. В. Огиевского (на украинском языке), Киев, 1947.
15. Урываев В. А. Обеспеченность расходов в году рек Европейской части СССР. Тр. НИУ ГУГМС СССР, сер. 4, вып. 2, Л.—М., 1941.
16. Чеботарев Н. П. Теория минимального стока. Тр. Воронежского гос. ун-та, т. 28, Воронеж, 1952.
17. Шевелев М. Э. Метод расчета обеспеченных минимумов речного стока. Метеорология и гидрология, № 8, 1937.
18. Horton Robert E. Surface Runoff Phenomena. Michigan, 1935.