

Расчет максимального стока рек и малых водотоков полуострова Ямал

Полуостров Ямал, расположенный на крайнем севере Западной Сибири, испытывает влияние многих негативных для инфраструктурных объектов физико-географических факторов, способствующих формированию в реках в многоводные дружные весны больших расходов воды, выходу их из берегов, подтоплению и затоплению обширных территорий, разрушению промышленных и хозяйственных объектов. При строительном проектировании и эксплуатации сооружений необходимо иметь надежные данные об элементах водного режима рек, в первую очередь, об их максимальном стоке. Однако, таких данных нет в достаточном количестве из-за отсутствия на полуострове стационарных стоковых пунктов гидрологических наблюдений. Имеющиеся данные получены экспедициями разных организаций, они кратковременные (в период меняющегося климата), приведение их к многолетнему периоду затруднено отсутствием рек-аналогов. Определение расчетных значений элементов половодья в пунктах наблюдений произведено в соответствии с нормативными документами, в случае получения сомнительных результатов, обусловленных особенностями формирования максимального стока, примененный способ расчета корректировался или использовался нестандартный подход. По расчетным значениям главных элементов половодья, слоя стока (h) и максимальных расходов воды (Q), исследованных рек получены связи между Q и h на конкретных гидрологических постах (ГП), их связи, а также отношения максимального модуля стока $q_{1\%}$ к $h_{1\%}$, с площадью водосбора. На основании установленных закономерностей принята редуцированная формула для расчета

максимальных расходов воды различной обеспеченности неизученных рек полуострова, в которую входят, согласно нормативным документам, слой стока и коэффициент дружности половодья K_0 .

Приводится редуцированная формула для расчета Q в монографии «Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири». Она отличается от вида формулы, рекомендованной нормативными документами: произведение параметров $K_0 \cdot h$ заменено на элементарный максимальный модуль стока 1%-ной обеспеченности. Формула недостаточно обоснована данными наблюдений, рассматриваются причины этого. Для расчета h и Q различной обеспеченности с использованием кривых обеспеченности определены региональные значения коэффициентов вариации (C_v) и отношения C_s / C_v (C_s – коэффициент асимметрии).

Воскресенский Олег Борисович

Ведущий научный сотрудник Отдела мониторинга и экспедиционных исследований Государственного Гидрологического Института, к.т.н.
kate_you@inbox.ru

Введение

Находящийся на крайнем севере Западной Сибири, полуостров Ямал богат нефтью и газом, его интенсивное освоение началось с 90-х гг. XX века. Из неблагоприятных физико-географических условий, которым подвергаются здесь хозяйственные объекты, особое место принадлежит рекам. В многоводные дружные весны они выходят из берегов и вызывают подтопление и затопление обширных территорий, нарушают работу и вызывают разрушение промышленных и хозяйственных объектов. Для уменьшения и предотвращения подобных последствий при строительном проектировании и эксплуатации объектов необходимо иметь надежные данные о водном режиме рек, в первую очередь об их максимальном стоке. Однако и к настоящему времени таких данных набирается недостаточно. Причиной этого является отсутствие на Ямале и на соседних Гыданском и Тазовском полуостровах стационарных пунктов гидрологических наблюдений (гидрологических постов, ГП) на реках со стоком, формирующимся в пределах зоны тундры. До 1990 г. на юго-западе тундры Западной Сибири действовало три стоковых ГП (позже – два, из них один на р.Щучьей). Сток этих рек не вполне характерен для полуострова. Имеющиеся данные наблюдений получены экспедициями разных организаций, но они эпизодические, кратковременные, не охватывающие, как правило, основную фазу водного режима рек – весенне-летнее половодье. В связи с этим рекомендации по определению главных характеристик половодья, слоя стока (h) и максимальных расходов воды (Q) неизученных рек полуострова основывались первоначально на данных изученных рек соседних территорий, имеющих существенно иные условия формирования стока [Водогрецкий, 1973].

Первые рекомендации, разработанные на основании наблюдений на реках полуострова, опубликованы в работе [Москвин, Багров, 1990] для малых рек южной части полуострова, позже – в работе [Василенко, 1999] для малых рек Центрального Ямала, а затем – в работе [Новиков, 2009] для рек всего полуострова. В названных работах предложены формулы для расчета Q . Они основаны на

ограниченном исходном материале – только на наблюдениях на малых водотоках с площадью водосбора $A \leq 273 \text{ км}^2$. В работе 2009 г. в редуцированную формулу, принятую нормативными документами в качестве основной для расчета максимальных расходов воды неизученных равнинных рек, внесены изменения: часть параметров заменена на другие.

В предлагаемой статье анализ и обобщение материалов выполнены с использованием большего числа пунктов наблюдений на реках от малых до крупных для полуострова Ямал. Дополнительно проанализированы данные предыдущих экспедиционных исследований.

В выводах и рекомендациях обоснована правомерность построения для полуострова редуцированной формулы для расчета максимальных расходов воды в зависимости от h и K_0 . При анализе исходной гидрометеорологической информации использованы и обоснованы некоторые нестандартные подходы к обработке и обобщению материалов наблюдений. Однако, как указано выше, гидрологическая изученность территории полуострова остается слабой, требуется организация стационарных ГП на характерных реках.

Методика и результаты исследований

На реках полуострова Ямал до 90% годового стока проходит в период весенне-летнего половодья. Расчет главных элементов половодья, слоя стока (h) и максимальных расходов воды (Q) при отсутствии наблюдений в расчетном створе основывается на изучении процесса их формирования и установлении основных стокоформирующих факторов, влияние которых учитывается соответствующими параметрами расчетных формул. В условиях участвовавших в последние десятилетия проявлений стихийных аномальных по размеру и продолжительности значениях речного стока, возросла ответственность инженеров-гидрологов за правильность расчетных значений характеристик половодий и паводков.

В отечественной гидрологии с 1972 г. в соответствии с «Указаниями по определению расчетных гидрологических характеристик» (СН 435-72) в качестве основного метода определения максимальных расходов воды весеннего половодья неизученных равнинных рек принята следующая редуцированная формула:

$$Q_{p\%} = \frac{K_0 \cdot h_{p\%} \cdot \mu_{p\%} \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_3 \cdot A}{(A + A_1)^n}, \quad (1)$$

где K_0 – коэффициент, характеризующий дружность весеннего половодья; $h_{p\%}$ – расчетный слой суммарного весеннего стока, мм, ежегодной вероятности превышения (обеспеченности) $p\%$; $\mu_{p\%}$ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров кривых распределения слоев стока и максимальных расходов воды; δ , δ_1 , δ_2 , δ_3 – коэффициенты, учитывающие влияние водохранилищ, прудов и проточных озер (δ), залесенности (δ_1), заболоченности (δ_2) и распаханности (δ_3) речных водосборов на максимальные расходы воды; A – площадь водосбора реки до расчетного створа, км^2 ; A_1 – дополнительная площадь, учитывающая снижение интенсивности редукиции модуля максимального стока $q_{p\%}$ с уменьшением площади водосбора, км^2 ; n – районный показатель степени редукиции $q_{p\%}$, (согласно СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик»).

Первые рекомендации по расчету Q рек зоны тундры Западной Сибири по формуле (1) приведены в [Водогрецкий, 1973]. Значения ее параметров определены по данным рек соседних районов: n получено равным 0,15, но K_0 , вычислявшееся обратным путем из формулы (1), определялось при $n=0,25$ – для возможности проследить изменения K_0 по территории Западной Сибири. Карта K_0 построена, на территории полуострова изолинии не показаны.

В последующих публикациях рекомендации по расчету Q основаны на данных наблюдений на малых реках южной части полуострова (1990 г.), на малых реках Центрального Ямала (1999 г.), на реках всего полуострова (2009 г.).

В работе [Москвин, Багров, 1990] рекомендации по определению Q рек полуострова основаны на данных комплексных исследований Западно-Сибирской экспедиции ФГБУ «Государственный Гидрологический Институт» (ЗСЭ ФГБУ ГГИ) пяти малых рек в районе пос.Новый Порт в 1983–1985 гг. В них для всех рек южной половины Ямала предложены постоянные значения параметров кривых обеспеченности (КО): среднемноголетнего слоя стока весенне-летнего половодья ($h_0=225$ мм), коэффициентов вариации ($C_v=0,2$) и асимметрии ($C_s=4$). Расчетная формула для определения Q не приводится, но ее применение подразумевается, т.к. указаны значения коэффициента дружности половодья ($K_0=0,006$) и коэффициента, учитывающего влияние заболоченности бассейнов ($\delta_2=1,0$).

В работе [Василенко, 1999], основанной на более полных данных наблюдений ЗСЭ ФГБУ «ГГИ», предложена нередукционная формула для расчета максимальных расходов воды в зависимости от коэффициента изменения густоты русловой сети на водосборе в период формирования стока половодья, фактической густоты постоянной и временной русловой сети (включая ручейковую), густоты овражно-балочной сети, коэффициента стока половодья, площади водосбора и таких понятий, как «метеорологическая сила снеготаяния» (произведение максимального слоя запаса воды в снеге и средней интенсивности снеготаяния), «метеорологическая сила дождя» (произведение слоя осадков в период формирования максимального Q и средней интенсивности осадков). Для расчета Q требуется определение 11-ти гидрологических и метеорологических характеристик, получаемых, в частности, путем трудоемких полевых измерений и определений по крупномасштабным картам и топосъемкам. Формула предложена для ориентировочных предварительных расчетов Q половодья отдельных лет малых водотоков Центрального Ямала.

В 2009 г. в [Новиков, 2009] опубликованы результаты продолжительных исследований ЗСЭ ФГБУ «ГГИ», включающие характеристику гидрологического режима рек, озер, болот, расчетные характеристики максимального стока малых рек. Последние приведены в таблице 1 настоящей статьи; таблица дополнена данными по рекам, исследованным экспедицией Отдела мониторинга и экспедиционных исследований ФГБУ «Государственный Гидрологический Институт» (ОМЭИ ФГБУ «ГГИ») в разные годы периода 2004–2015 гг. Для определения максимальных расходов воды рек и ручьев зоны полигональных болот, в которой находится полуостров (рис.1), рекомендована редуцированная формула вида (1), в которой произведение параметров $K_0 \cdot h_{p\%}$ заменено на элементарный максимальный модуль стока 1%-ной обеспеченности $A^*_{1\%}$, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$,

метеорологическая станция. Цифры рядом с условными знаками 3-4 – номера гидрологических постов по табл. 1

Таблица 1

Максимальный сток весенне-летнего половодья рек и малых водотоков полуострова Ямал и прилегающей южной тундры

№ п/п	Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Число лет наблюдений	Максимальные расходы воды				Максимальные слои стока			
				Q ₀ , м ³ /с	C _v	C _s /C _v	Q _{1%} , м ³ /с	h ₀ , мм	C _v	C _s /C _v	h _{1%} , мм
1	Собь – пгт Харп	1240	63	503	0,34	4,0	1100	573	Составная КО		931
2	Щучья – д.Лаборовая	1680	40	284	Составная КО		660				
			35				314	0,27	3,0	610	
3	Щучья - пос.Щучье	10600	33	950	0,30	3,0	2130				
			28				246	0,25	3,0	440	
4	Щучья – бассейн между д.Лаборовая и пос.Щучье	8920	19	643	0,32	4,0	1460				
			13				224	0,26	4,0	403	
5	Морды-Яха – 2,6 км ниже устья р.Нямзей-Сё	3680	3	839	0,44	2,75	2010	260	0,27	-2,1	394
6	Морды-Яха – 8,0 км ниже устья р.Сё-Яха	7640	3	1500	0,44	2,75	3580	209	0,27	-2,2	315
							3250				302
7	Недарма-То-Сё – 1,5 км выше устья	39,4	1				336				
							231				
8	Сё-Яха – 30 км выше устья	3480	12	799	0,46	3,5	2040				
							1710				
								224	0,29	-2,1	347
										334	
9	Руч.Основной – 0,02 км ниже устья руч. Антропогенного	0,98	14				2,36				403
10	Надуй-Яха - 159 км выше устья	1050	1	376				263			
11	Пя-Седей-Яха	114	10	46,0	0,31	-1,6	74,0	253	0,23	0,5	393
12	Ярапензя	36,7	9	16,3	0,43	3,0	38,9	272	0,17	5,9	415
13	Руч.Осоковы й	8,33	10	4,28	0,62	3,4	13,3	264	0,19	6,0	422
14	Руч.Файн-Яха	8,31	7	4,63	0,57	4,6	14,2	290	0,18	6,7	454
15	Руч.Домашни й	0,76	9	0,37	0,58	2,8	1,10	223	0,23	-6,1	291
16	Пухуча-Яха	273	6	113	0,44	3,6	280	248	0,20	-1,7	351

17	Руч.Овражн ый	9,34	5	4,87	0,25	0,0	7,64	272	0,17	1,4	386
18	Нгарка- Хасуй-Яха	147	6	48,9	0,44	2,6	116	225	0,16	-2,4	299
19	Руч.Безымян- ный	2,23	4					259	0,15	1,0	354

Примечания

1. Дополнительные сведения о гидрографических характеристиках рек и о значениях h и Q разной обеспеченности приведены в статье автора [Воскресенский О.Б., 2020]
2. ГП под №№ 1–3 – пункты Росгидромета, под № 5-10 – пункты экспедиции ОМЭИ ФГБУ «ГГИ», под № 11-19 – пункты ЗСЭ ФГБУ «ГГИ».
3. На ГП под «1–3 исходные КО h и Q графически сглажены в зоне малых обеспеченностей.
4. На ГП под № 6 и 8 в строках $Q_1\%$ и $h_1\%$ в их нижних строках приведены значения этих элементов при наличии оттока воды из р. Сё-Яха (приток р.Морды-Яха) в р.Надуй-Яха.
5. На ГП под № 7 в графе $Q_{1\%}$ приведены максимальные среднесуточные расходы воды при затоплении бассейна р.Недарма-То-Се водами р.Морды-Яха: в верхней строке – на подъеме половодья, в нижней строке – на спаде волны половодья.
6. На ГП под № 9 значения $Q_1\%$ и $h_1\%$ рассчитаны по данным двухлетних наблюдений, когда сток ручья не был нарушен хозяйственной деятельностью.
7. На ГП под № 10 в графах Q_0 и h_0 приведены значения, которые зафиксированы в 2011 г.

По мнению автора формулы (2) С.М. Тумановской, указанная замена параметров в формуле (1) необходима, так как на реках территории отсутствует достаточно тесная связь $Q=f(h)$, на которой базируется структура формулы (1). Отсутствие такой связи на гидрологических постах объясняется невозможностью надежного вычисления на реках Ямала среднесуточных расходов воды в период половодья по связям измеренных расходов с уровнями воды из-за неустойчивости связей; неустойчивость вызывается ежедневным увеличением во время измерений площади размыва заснеженного русла. Вследствие этого ненадежными являются получаемые слои стока половодья. Но достаточно надежные результаты будут получены, если соблюдать требования к измерению и обработке расходов воды в неустойчивых руслах, изложенные в нормативном документе 1958 г. «Наставления гидрологическим станциям и постам», вып. 6, часть III. Тем более, что сам автор указывает на возможность надежного учета стока воды путем учащенной регистрации ее уровня и измерения расходов в период наступления экстремума стока два раза в сутки. В связи с этим необходимо подчеркнуть, что на водотоках, исследованных экспедициями ФГБУ «ГГИ», указанные условия измерений соблюдались, поэтому использованные в настоящей статье данные наблюдений за максимальным стоком, как и закономерности, установленные на их основании, в частности, формула с параметрами K_0 и h , достаточно надежные. Автор формулы (2) считает также, что причиной неустойчивости динамики размыва снежного русла (a , следовательно, и недостаточно тесных связей $Q=f(h)$)

является неравномерность нарастания от года к году действующей площади водосбора. Это мнение ошибочное. Интенсивность размыва определяется размером и интенсивностью притока в русло талых вод с прилегающего водосбора, а приток зависит от дружности весны. Но нельзя считать, что в весны различной дружности в формировании Q участвует или вся водосборная площадь (в дружные весны) или только ее часть (в затяжные весны). Даже когда теплая воздушная масса не охватывает весь бассейн, снеготаяние и приток воды со склонов в русло происходят и на остальной части бассейна, хотя и с меньшей интенсивностью; то есть и в этом случае действующей является вся площадь бассейна. Изменение действующей площади возможно при наличии в бассейне бессточных озер, характеристики которых, о них указано выше, позволяют отдавать в отдельные годы свои воды в русла рек.

Формула (2) получена по данным о стоке малых рек, с $A \leq 273$ км². Анализ материалов экспедиционных исследований ФГБУ «ГГИ» с 80-х гг. прошлого века по настоящее время на реках Ямала разных размеров, с площадью водосбора до 10600 км², выполненный автором настоящей статьи, позволил уточнить ряд закономерностей формирования максимального стока рек полуострова.

Установлено, что удовлетворительные связи $Q = f(h)$ имеют следующие реки. Из 9 водотоков, исследованных ЗСЭ ФГБУ «ГГИ», для трех, имеющих наиболее длинные ряды наблюдений (8 лет, на остальных ГП – 4–5 лет), коэффициенты корреляции R связей равны: на р. Пя-Седей-Яха – 0,89; на ручье Осоковом и р. Ярапензя, связи для которых построены без учета одной сильно отклонившейся точки, соответственно 0,98 и 0,77 (рис. 2), на р. Пухуча-Яха по данным за 5 лет $R = 0,69$. Отклонение в отдельные годы аномально высоких Q – не редкость на реках разных районов страны. На Ямале такие Q могут формироваться за счет наличия к весне уплотненных снежных перемычек в руслах оврагов, которые вначале замедляют сток по заснеженному руслу, а при прорыве резко его увеличивают; прорыва бессточных озер, повышенного стока из некоторых других озер, заторов льда и плотного снега, больших сумм жидких осадков в период подъема и пика половодья.

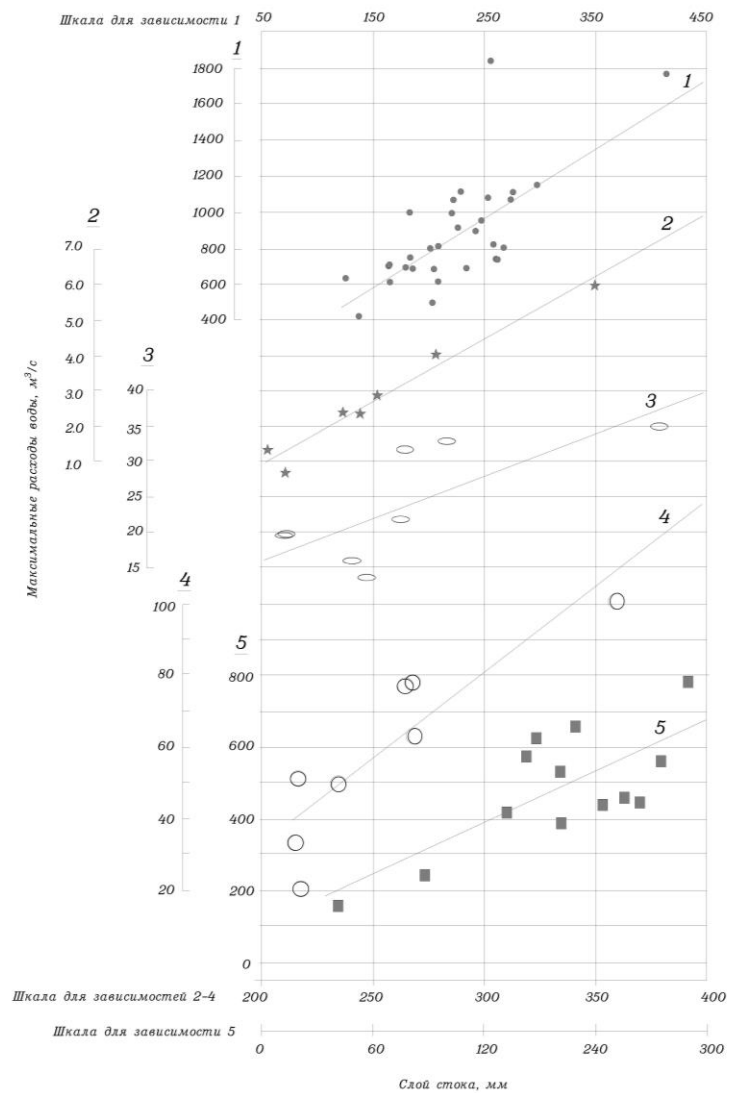


Рис. 2. Зависимость максимальных расходов воды весенне-летнего половодья от слоя стока. Обозначения: 1 – р. Щучья - пос. Щучье ($R = 0,82$); 2 – руч. Осоковый ($R = 0,98$); 3 – р. Ярапензя ($R = 0,77$); 4 – р. Пя-Седей-Яха ($R = 0,89$); 5 - р. Се-Яха - 30 км выше устья (зависимость среднесуточных расходов воды, $R = 0,75$) (шкалы горизонтальной оси даны разные для разных зависимостей)

На ГП р. Сё-Яха – 30 км выше устья прослеживается связь максимальных среднесуточных расходов воды со слоями стока основных волн половодья, характеризующаяся коэффициентом $R = 0,75$. Связь мгновенных Q с h всего половодья неудовлетворительная, рассеяние точек на ней обусловлено тем, что в условиях сильной извилистости русла реки (коэффициент извилистости – 3,0), больших размеров (до 200 м) плывущих в половодье льдин выше и ниже ГП образуются заторы льда и плотного снега. Места и размеры заторов в разные годы могут меняться, поэтому их резкий прорыв увеличивает мгновенные Q в повышенно разной степени. С прорывом заторов могут совпадать прорывы снежных перемычек в оврагах.

Тесная связь между Q и h , $R = 0,82$, существует на ГП р. Щучья – пос. Щучье, хотя значительно отклоняется от остальной, 28-летней, массы точек высокий Q 1958-го

г. (рис. 2). Для равнинной части бассейна этой реки приемлемая связь (с $R = 0,70$) рассматриваемых характеристик прослеживается лишь при использовании 90% имеющихся на графике точек (17 из 19), но учет двух точек не изменяет положения линии связи, проведенной по всем точкам.

Наличие удовлетворительных связей Q с h половодья обеспечивает получение обратным путем из формулы (1) достаточно надежных значений K_0 для рек полуострова. До последнего времени оно принималось равным преимущественно 0,007 по данным рек-аналогов соседних с Ямалом южных районов. Для малых рек южного Ямала рекомендовалось значение 0,006, но реки с наиболее продолжительными экспедиционными наблюдениями имеют более высокие значения K_0 : Пухуча-Яха – 0,0076; р. Сё-Яха – 30 км выше устья, руч. Основной – 0,02 км ниже устья руч. Антропогенного и р. Ярапензя в 1984 и 1989 гг. (при Q обеспеченностью соответственно 4 и 3%) – 0,007; р. Морды-Яха – 8 км ниже устья р. Сё-Яха – 0,0065; в гипотетическом створе, объединяющем водосборы трех ГП на рядом расположенных реках Пахуча-Яха, Нгарка-Хасуй-Яха и руч. Безымянном (суммарная $A \approx 422$ км²), вычисленное с использованием средневзвешенных значений Q и h обеспеченностью 1%, $K_0 = 0,0079$.

Таким образом, на пяти реках полуострова и гипотетическом створе, в значительном диапазоне площадей водосборов, от 0,98 до 7640 км², значения K_0 при Q и h 1%-ной обеспеченности находится около значения 0,007 или несколько превышает его. Учитывая сложные условия формирования максимального стока рек Ямала, относительно короткие ряды наблюдений, важность хозяйственного освоения территории, обоснованным является принятие в качестве расчетного значения K_0 , равного 0,007, с тем, чтобы иметь некоторое гарантированное превышение расчетного Q по сравнению с получаемым при использовании $K_0 < 0,007$. Возможность принятия наибольшего значения K_0 предусматривается в документе «Пособие по определению основных расчетных гидрологических характеристик».

Параметры формулы (1) n и A_1 получены автором статьи равными, соответственно, 0,17 и 1 по районной для полуострова Ямал зависимости $\lg(q_{1\%}/h_{1\%}) = f(\lg A)$ (рис.3). Аналогичные значения рекомендовались для зоны тундры и раньше, согласно документу «Пособие по определению основных расчетных гидрологических характеристик», но по данным рек других регионов. Зависимость проведена с использованием данных относительно однородной совокупности модулей $q_{1\%}$, без учета данных ручьев Безымянного и Овражного, имеющих, как уже указывалось, аномально низкие $q_{1\%}$, а также без данных р. Недарма-То-Сё, максимальный сток которой формируется водами рек Морды-Яха и Сё-Яха. Коэффициент корреляции связи $R = 0,92$, уравнение:

$$\lg \left(\frac{q_{1\%}}{h_{1\%}} \right) = -0,17 \cdot \lg A + 0,72. \quad (3)$$

С использованием данных $q_{1\%}$ указанных ручьев коэффициент связи R равен 0,87, параметр $n = 0,15$.

Коэффициенты δ и δ_2 равны 1, поскольку небольшие проточные озера, а также болота промерзают и на весенний сток не влияют; δ_1 и δ_3 также равны 1, так как лес и распашка речных водосборов отсутствуют.

В итоге расчетная формула (1) для рек полуострова Ямал упрощается и принимает вид:

$$Q_{p\%} = \frac{0,007 \cdot h_{p\%} \cdot \mu_{p\%} \cdot A}{(A+1)^{0,17}} \quad (4)$$

Получена также районная зависимость максимального модуля $q_{1\%}$ от площади водосбора, имеющая вид:

$$\lg q_{1\%} = -0,14 \cdot \lg A + 3,22 \quad (5)$$

и характеризующаяся параметром n , равным 0,17.

Расчетный слой суммарного весенне-летнего стока различной обеспеченности $h_{p\%}$ определяется в зависимости от среднемноголетнего слоя стока половодья h_0 , коэффициента C_v и соотношения C_s/C_v – по данным закрытых ГП на реках-аналогах полуострова, а h_0 – также по карте [Новиков, 2009]. Параметр h_0 , а также $h_{1\%}$, не зависят от площади водосбора. Значение h_0 изменяется от 190 мм в центральной возвышенной части полуострова до 220-250 мм в прибрежных районах, слой половодья 1%-ной обеспеченности – соответственно от 320 до 400 мм.

Коэффициенты C_v составляют 0,17-0,23, на ГП р. Щучья - пос. Щучье и равнинной части ее бассейна – 0,25 и 0,26. Отношения C_s/C_v слоя стока половодья малых рек колеблются от -6,0 до 6,7, на р. Щучьей составляют 3,0-4,0. В качестве районных принимаются средние положительные значения C_v и C_s/C_v , определенные для каждой группы исследованных рек (табл. 2). Приведенное в таблице деление рек (условное) на малые ($A < 1000 \text{ км}^2$) и большие ($A > 5000 \text{ км}^2$) принято автором, как и в [Сиско, 1977]; дополнительно выделены очень малые водотоки ($A < 50 \text{ км}^2$).

Принятие положительных значений C_s/C_v гарантирует получение расчетных значений h от занижения в зоне малых обеспеченностей.

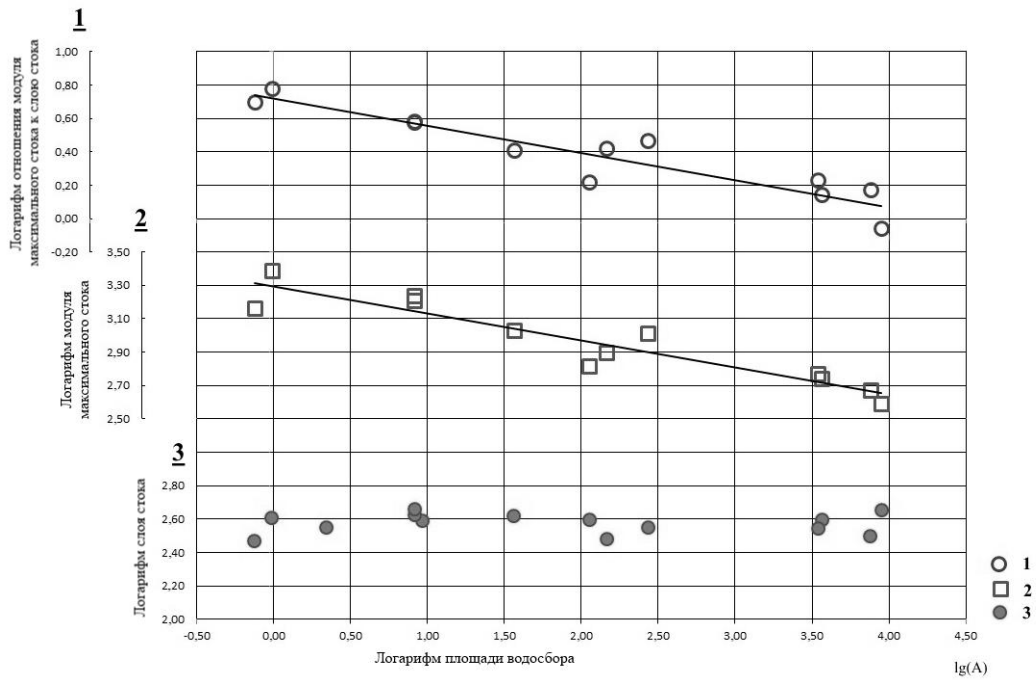


Рис. 3. Графики 1 – $lg\left(\frac{q_{1\%}}{h_{1\%}}\right) = f(lgA)$, 2 – $lg(q_{1\%}) = f(lgA)$, 3 – $lg(h_{1\%}) = f(lgA)$ для рек полуострова Ямал и прилегающей южной тундры.

Таблица 2

Районные значения C_v и C_s/C_v слоя стока и максимальных расходов воды весенне-летнего половодья рек и малых водотоков Ямала и прилегающей южной тундры

Район полуострова	A , км ²	Слой стока		Максимальные расходы воды	
		C_v	C_s/C_v	C_v	C_s/C_v
Малые и очень малые реки					
Южная часть	< 50	0,20	6,5	0,60	3,5
	< 1000	0,20	5,0	0,35	3,0
Средняя и северная части	< 50	0,16	1,2	0,30	3,0
	< 1000	0,18	2,0	0,45	3,0
Средние и большие реки					
Весь полуостров	-	0,27	2,0	0,45	3,0

Расчет характеристик максимального стока неизученных рек полуострова, имеющих особенности в строении бассейна и русла, обоснованнее производить, используя не районные значения параметров стока, а конкретную реку (реки) со сходными характеристиками гидрографической сети, обуславливающими, например, отрицательные значения C_s/C_v кривых обеспеченности слоя стока половодья.

В [Новиков, 2009] предлагается определять значения $h_{p\%}$ по формуле:

$$h_{p\%} = h_{1\%} \cdot \lambda_{p\%}, \quad (6)$$

в которой $h_{1\%}$ принимаются равными для южной части полуострова 395 мм, для средней и северной частей – 350 мм, это средние значения для водотоков соответственно Новопортовского и Бованенковского стационаров; $\lambda_{p\%}$ - переходный коэффициент от $p = 1\%$ к $p \leq 25\%$. Принятие постоянных значений $h_{1\%}$ противоречит приведенной в работе карте $h_{1\%}$, так как водоток, сток которого надо определить, может находиться в зоне изолиний $h_{1\%}$, существенно отличающихся от рекомендуемых значений.

Применение для расчета Q весенне-летнего половодья формулы (4) предпочтительнее, чем формулы (2), поскольку она получена с использованием большего объема исходной информации (табл. 3) и на основании полученных удовлетворительных связей $Q = f(h)$ и $\lg \left(\frac{q_{1\%}}{h_{1\%}} \right) = f(\lg A)$. Входящий в (4)

коэффициент дружности половодья K_0 определяется по формуле (7)

$$K_0 = q_{p\%}(A + A_1)^n / (h_{p\%} \mu_{p\%} \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3). \quad (7)$$

Коэффициентами δ_i учитывается влияние на него соответствующих характеристик водосбора, а через параметр A , косвенным образом, также длина, уклон реки, а следовательно, время добегания потока к расчетному створу (площадь водосбора является интегралом ряда стокообразующих факторов). Значение K_0 в конкретном гидрологическом районе, в конкретный год, более устойчиво по территории, чем параметр $A_{1\%}^*$. Это обусловлено тем, что K_0 , как отношение $q_{p\%}$ к $h_{p\%}$, определяет однообразную форму гидрографа (например, высокую и относительно узкую или пониженную растянутую) на всех реках района, независимо от различия

характеристик их водосборов. Слой стока половодья h , как продукт метеорологических факторов максимального стока, более плавно, чем A^* , меняется по территории.

За счет повышенного в формуле (4) значения n линия регрессии 1 на рис. 3 проходит круче, увеличивая тем самым значения Q малой обеспеченности, предотвращая их занижение.

Таблица 3

Количество и размер объектов, данные наблюдений на которых использованы при установлении параметров, входящих в формулы (2) и (4)

Экспедиции ФГБУ «ГГИ»	Количество рек	Количество ГП		Площадь водосбора рек, км ²	Продолжительность наблюдений на ГП	
		экспедиционных	государственной сети		экспедиционных	государственной сети
ЗСЭ	9	9	-	0,76-273	4-8	-
ОМЭИ и ЗСЭ	16	15	3	0,76-10 600	3-14	28-63

Примечание: на р. Надуй-Яха наблюдения проводились один год.

Заключение

Совместным анализом данных относительно продолжительных комплексных исследований 14-ти рек и малых водотоков полуострова Ямал двумя экспедициями ФГБУ «ГГИ» и двух рек прилегающей южной тундры на ГП государственной сети наблюдений, с привлечением многолетних данных наблюдений на метеостанциях, получены многолетние характеристики максимального стока весенне-летнего половодья рек территории в большом диапазоне площадей водосборов, от малых до больших для полуострова. Используя их, установлены закономерности формирования слоя стока и максимальных расходов воды половодья: зависимости $Q = f(h)$, $lgq_{1\%} = f(lgA)$, $lg(q_{1\%}/h_{1\%}) = f(lgA)$ и другие. На их основании получен вид редуцированной формулы для расчета максимальных расходов воды неизученных рек полуострова (формула (4)), в которую входят слой стока половодья h и коэффициент дружности половодья K_0 , а параметр $n = 0,17$. Формула более обоснована данными наблюдений, чем предложенные ранее, ее следует использовать для расчетов.

Получены районные значения параметров кривых обеспеченности C_v и C_s/C_v слоя стока и максимальных расходов воды рек разных размеров и ручьев в зависимости от их местонахождения на полуострове.

Список литературы

- Алексеев Г.А. Расчеты паводочного стока рек СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1955. 198 с.
Бакулин В.В. и др. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 303 с.

- Баранов А.В., Бобровицкая Н.Н.* Современное состояние и перспективы обеспечения гидрологической информацией проектов освоения газовых месторождений в условиях криолитозоны России // *Материалы седьмого Международного конгресса «Вода: экология и технологии»*. Москва, 2006. С. 125-126.
- Болгов М.В.* Оценка гидрологических и водохозяйственных характеристик в условиях неопределенности факторов формирования // *Водное хозяйство России*. 2016. № 4. С.6-17.
- Василенко Н.Г.* Расчет максимального стока малых рек Центрального Ямала. Сборник работ по гидрологии, № 23. СПб: Гидрометеиздат, 1999. С.45-46.
- Водогрецкий В.Е.* (ред.) Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 423 с.
- Воскресенский К.П.* Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на малых реках, ручьях и временных водотоках. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 368 с.
- Воскресенский О.Б.* Формирование максимального стока рек и малых водотоков полуострова Ямал. *GeoINFO*, 2020. Вып.3.
- Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Марков М.Л., Молчанова Т.Г.* Опасные гидрологические явления на реках Арктической зоны Российской Федерации // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 4. С.89-98.
- Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Грек Е.Н., Лобанова А.Г., Молчанова Т.Г.* Оценка современных изменений максимального стока рек России // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 11. С.46-55.
- Добринский Л.Н.* (ред.) *Природа Ямала*. Екатеринбург: УИФ Наука, 1995. 434 с.
- Москвин Ю.И., Багров С.А.* Максимальный сток рек южной части полуострова Ямал. Сборник работ по гидрологии, № 21. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С.16-23
- Новиков С.М.* (ред.) *Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири*. СПб: изд. «ВВМ», 2009. 536 с.
- Семёнов В.А., Гниломедов Е.В., Салугашвили Р.С., Голубев В.Н., Фролов Д.М.* География распределения и генезис климатообусловленных изменений экстремальных расходов воды, опасных наводнений и маловодий на реках России // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2015. Вып.179. С.108-120.
- Сидорчук А.Ю., Баранов А.В.* (ред.) *Эрозионные процессы Центрального Ямала*. СПб: Недра. 1999. 350 с.
- Сиско Р.К.* (ред.) *Ямало-Гыданская область*. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 309 с.
- Соколов А.А.* Максимальный сток рек с озерным регулированием и методика его расчета // *Труды Государственного гидрологического института*. 1955. Вып. 50 (104). С. 117-143.
- Соколовский Д.Л.* *Нормы максимального стока весенних паводков рек СССР и методика их расчета*. Л.: Гидрометеиздат, 1937 г.
- Трофимов В.Т., Баду Ю.В., Кудряшов В.Г., Фирсов Н.Г.* *Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк)*. М.: изд-во МГУ, 1975. 278 с.
- Эйрих Г.Д.* (ред.) *Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность*. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 431 с.
- Voskresenskij O.B.* *Methods for evaluating floodflow characteristics by field investigation.//Floodflow computation// Methods compiled from world experience/Jn*

Sokolov A.A., Rantz S.E., Roche M. (eds.). the UNESCO Press, Paris. 1976, pp. 242-265.