

**Формирование максимального стока рек и малых водотоков полуострова Ямал**

Реки полуострова Ямал в период весенне-летнего половодья многоводных лет проносят большие объемы воды, подтапливая, затапливая обширные территории и разрушая инженерные сооружения. При этом водный режим рек изучен слабо из-за отсутствия стационарных гидрологических постов, данные о нем получены экспедициями разных организаций. Цель настоящей работы – установить закономерности и особенности формирования максимального стока половодья на реках территории, получить надежные расчетные значения основных элементов половодья. Работа проводилась путем анализа гидрометеорологических данных наблюдений на гидрологических постах рек от малых, до, впервые, больших для полуострова. Привлекались многолетние сведения о метеоданных на метеостанциях. Определялись основные расчетные гидрологические характеристики половодья, слоя стока ( $h$ ) и максимальных расходов воды ( $Q$ ) способами, изложенными в СП 33-101-2003 и Методических рекомендациях ФГБУ «ГГИ», более подробно и расширенно раскрывающих смысл методических положений свода правил. В случаях, когда результаты расчетов оказывались сомнительными, нормированные способы корректировались или применялись нестандартные приемы. В итоге установлены особенности формирования максимального стока на ряде гидрологических постов, рассчитаны многолетние значения  $h$  и  $Q$  средних и больших рек полуострова, получены связи этих элементов между гидрологическими постами, кривые обеспеченности  $h$  и  $Q$ , зависимости  $Q$  от  $h$  на постах. Расчетные данные о максимальном стоке исследованных рек использованы при определении расчетных уровней подтопления и затопления участков нефтяных и газовых месторождений на полуострове; при строительном проектировании и эксплуатации соответствующими организациями (с начала 2000-х годов) различных коммуникаций, других строительных объектов; для инженерной защиты территорий; они необходимы для выполнения региональных обобщений значений и характеристик  $h$  и  $Q$ . Примененные автором нестандартные способы обработки исходных данных, а также способы расчета  $h$  и

**Q** малых рек, формирующихся в особых условиях (к малым рекам относятся, согласно ГОСТ 19179-73, все реки полуострова), с короткими рядами наблюдений дополняют в определенной степени существующие нормативные рекомендации. Их целесообразно использовать в инженерной гидрологии, применительно, в первую очередь, к малым рекам с незначительным объемом гидрологической информации.

### **Воскресенский Олег Борисович**

Ведущий научный сотрудник Отдела мониторинга и экспедиционных исследований  
Государственного Гидрологического Института, к.т.н.  
[kate\\_you@inbox.ru](mailto:kate_you@inbox.ru)

### **Введение**

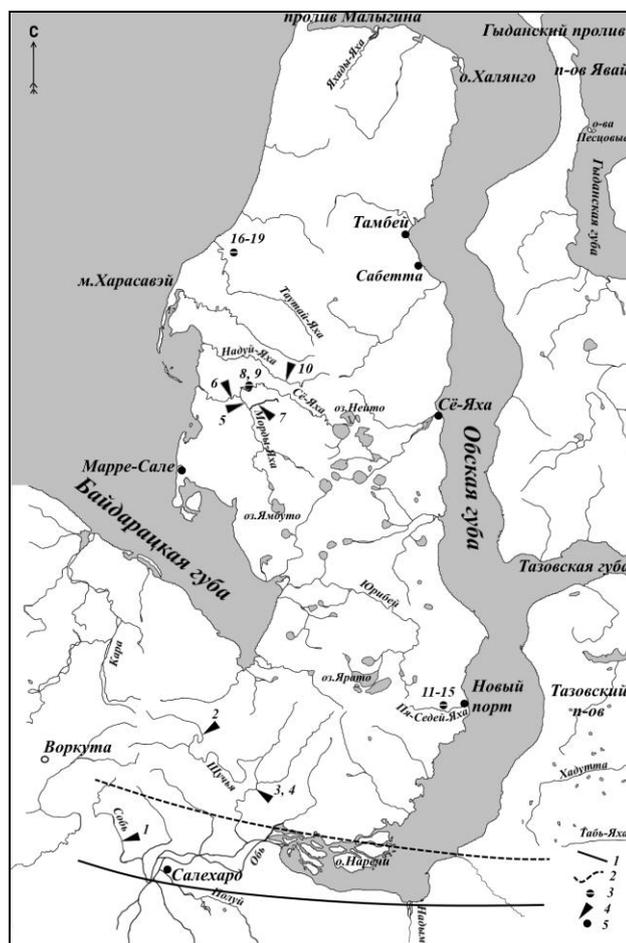
Полуостров Ямал, находящийся на севере Западной Сибири, обладает богатыми природными ресурсами, в первую очередь, газом и нефтью. С 90-х гг. прошлого века началось достаточно интенсивное его освоение, особенно в последние годы. В суровых условиях Заполярья инфраструктурные хозяйственные, промышленные, социальные объекты периодически подвергаются отрицательному воздействию ряда природных факторов. Особая роль в этом процессе принадлежит водным образованиям, в первую очередь – рекам. Высокие максимумы и большие объемы весенне-летних половодий, наблюдающиеся в многоводные годы, обуславливают затопление или подтопление обширных территорий, разрушение инженерных сооружений. Реже это происходит при прохождении дождевых паводков. При этом водный режим рек полуострова изучен слабо, стационарный стоковый гидрологический пост (ГП) Росгидромета действует только в бассейне р. Щучьей, расположенной на крайнем юге территории и не вполне характерной для полуострова. Гидрологические наблюдения на реках проводились экспедициями разных организаций, эпизодически и кратковременно. Первые сведения по гидрологии Ямала получены экспедицией Б.М. Житкова в начале 20 века. В 70-х годах опубликовано несколько монографий, посвященных природе Ямала, северу Западной Сибири. В них приводится описание физико-географических условий территории, данные о речном стоке отрывочные, для периода межени или/и спада половодья. В 1973 г. Госкомгидрометом впервые публикуются основные характеристики половодья р.Щучьей за 14 лет. В 1977 г. в книге «Ямало-Гыданская область» по исследованиям ААНИИ в 1970-1972 гг. приводится характеристика водного режима рек, для двух рек данные о годовом, сезонном стоке, их гидрографы. В летне-осенний сезон 1986 г. Амдерминское УГМС провело на р. Юрибей, в створе проектируемого моста, наблюдения за уровнем воды; в 1987 г. Киевский филиал Союздорпроекта выполнил гидрометрические наблюдения на нескольких реках Бованенковского газово-конденсатного месторождения. В книге «Природа Ямала» (1995 г.) для некоторых рек полуострова приводятся элементы годового водного баланса, годовая водность, измеренные расходы воды. В монографии «Эрозионные процессы Центрального Ямала» (1999 г.) обобщены результаты исследований опасных гидродинамических и гидрологических процессов. Но почти всеми перечисленными и другими организациями не был охвачен измерениями стока основной сезон водного режима – период весенне-летнего половодья.

Наиболее продолжительными и комплексными были исследования Западно-Сибирской экспедиции ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (ЗСЭ ФГБУ «ГГИ») [Новиков, 2009] и экспедиции отдела мониторинга вод и экспедиционных исследований (ОМЭИ) ФГБУ «ГГИ». Проводились наблюдения за всеми основными элементами водного баланса, метеорологические наблюдения. Особое внимание уделялось проведению работ в весенне-летний период.

### **Природные условия**

Полуостров Ямал расположен за Полярным кругом, между Карским морем на севере и западе, Байдарацкой губой на юго-западе и Обской губой на востоке (рис. 1). Длина Обской губы

около 800 км, средняя ширина 45-55 км, наибольшая ширина – 90 км. Протяженность полуострова – 700 км, ширина – до 240 км. Территория в целом плоская, на севере холмистая, в центральной части возвышенная, вытянутая в меридиональном направлении, с отметками до 100 м над уровнем моря. Поверхность в разной степени изрезана речной и овражной сетью, сильно заболочена и заозерена. Наибольшая густота гидрографической сети на западе и севере Ямала 0,80–0,98 км/км<sup>2</sup>, в южной и средней частях – 0,34-0,38 км/км<sup>2</sup>. На юго-западе полуострова, прилегающего к восточным отрогам Полярного Урала, расположена плоская, заболоченная и заозеренная котловина; ее пересекает р. Щучья.



**Рис. 1.** Схема расположения гидрологических стационаров и постов экспедиций ФГБУ «ГГИ», действующих метеорологических станций Росгидромета. **Обозначения:** 1 - граница тундры; 2 - северная граница лесотундры; 3 - гидрологический стационар; 4 - гидрологический пост; 5 - метеорологическая станция. Цифры рядом с условными знаками 3-4 – номера гидрологических постов по табл. 1 и 2

Полуостров Ямал находится в зоне многолетней мерзлоты, в зоне тундры, меняющейся с юга на север от узкой полосы лесотундры до тундры арктической. Реки полуострова типично равнинные. Большинство из них имеют широкие, до 10 км, корытообразные долины с малыми уклонами, широкими заболоченными поймами, значительно извилистым руслом. Глубина долин в северной, холмистой, части полуострова достигает 40-80 м. Гидрографические характеристики малых рек значительно отличаются от характеристик больших рек. Первые представляют собой протоки, соединяющие озера, имеют мелкие долины, неглубокие, очень извилистые русла и низкие берега, слабое течение, повышенную озерность и заболоченность водосборов.

Озерность территории полуострова в целом 10%. Она уменьшается с юга на север и увеличивается от водораздельных равнин к низинным окраинам полуострова. Особенностью территории является также большая заболоченность, болота преимущественно низинные.

Климат полуострова суровый, зима продолжается 8-9,5 месяцев. Количество атмосферных осадков, формирующих весенне-летнее половодье (октябрь-июнь), составляет в среднем на юге

полуострова 250 мм (Салехард), в средней части – 180 мм (Марре-Сале), на севере – 206 мм (Тамбей). Наибольшие значения составляют, соответственно, 430, 330 и 310 мм.

Весьма активна ветровая деятельность. Зимой преобладают южные и юго-западные ветры, летом – северные или с северной составляющей. Арктические воздушные массы с севера не приносят больших осадков. Континентально-тропические воздушные массы с юга и юго-запада дают значительнее осадки, но они обычно ограничены узкой фронтальной зоной и не часто повторяются. Зимой сильные ветры сдувают снег с равнинных водораздельных и возвышенных пространств в понижения местности, нижние части подветренных склонов, в овраги. В результате запас воды в снеге оврагов превышает запасы на равнинных участках до 3-5 раз [Новиков, 2009].

### **Гидрометеорологическая изученность**

Площадь полуострова Ямал 122 тыс. км<sup>2</sup>. Согласно документу «Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения», изданному Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) в 1994 г., рекомендуется иметь в полярных районах среднюю плотность гидрологических постов (ГП) 20 000 км<sup>2</sup>/пост. На полуострове Ямал стационарных стоковых ГП нет, не считая действующего ГП на ежегодно перемерзающей р. Щучьей, расположенной на юго-западе тундровой зоны. Но водный режим этой реки недостаточно характерен для полуострова, а действующий пост учитывает сток только горной части реки.

Изучение водного режима рек Ямала проводилось многими организациями экспедиционно, особенно интенсивно – с 80-х гг. прошлого века, однако они носили кратковременный характер. Продолжительные и комплексные исследования выполнялись ЗСЭ ФГБУ «ГГИ» на малых реках двух гидрологических стационаров, Новопортовском и Бованенковском, в 1980-х годах. Результаты этих исследований обобщены в [Новиков, 2009].

С 2004 г. ОМЭИ ФГБУ «ГГИ» проводились комплексные гидрометеорологические исследования в бассейне р. Морды-Яха, в частности, на р. Сё-Яха, а также р. Надуй-Яха и других, пересекаемых трассами различных коммуникаций (см. рис. 1, табл. 1 и 2). На р. Сё-Яха и ручье Основном они продолжаются по настоящее время. Общее число исследованных к настоящему времени (в той или иной степени) водотоков – 16, пунктов наблюдений на них – 18.

В работе [Новиков, 2009], рассматривающей водный режим рек Ямала, не использованы при обобщении материалов данные многолетних наблюдений на двух ГП Росгидромета (действующий – один), находящихся на р.Щучьей. Авторы работы считают, что сток реки в нижнем створе мало сопоставим со стоком других рек полуострова, а ряды наблюдений имеют существенные недостатки. Действительно, верховья р.Щучьей, вытекающей из оз. Большое Щучье, находятся на склонах Полярного Урала, площадь водосбора в створе ГП «Лаборовая»  $A=1680$  км<sup>2</sup>, а его средняя высота  $H_{cp}=350$  м. Река типично горная. В среднем и нижнем течении река типично равнинная, протекающая по плоской слабо расчлененной низменности. Но использование данных наблюдений на р. Щучьей при обобщении характеристик максимального стока рек Ямала возможно, если определить сток реки с равнинной части водосбора.

На полуострове Ямал действует 6 метеорологических станций (МС), длительность наблюдений на них – от 27 до 133 лет. Данные по ним могут быть использованы для приведения статистических характеристик непродолжительных экспедиционных рядов наблюдений за стоком к многолетнему периоду. Метеостанции, расположенные в прибрежных районах, не всегда корректно отражают количество осадков на прилегающей внутренней территории полуострова.

Таблица 1

**Гидрографические характеристики водосборов исследованных рек и малых водотоков**

№ п/п	Река, малый водоток - пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Длина реки, км	Средняя высота водосбора, м	Средний уклон реки, ‰	Заболоченность, %	Озерность, %
1	Собь – пгт Харп	1240	57	400	5,12	<1	<1
2	Щучья – д.Лаборовая	1680	85	350	1,27	2,3	6
3	Щучья – пос.Щучье	10600	424	170	0,44	1	7
4	Щучья – бассейн между д.Лаборовая и пос.Щучье	8920	339	140	0,28	0,8	7,2
5	Морды-Яха – 2,6 км ниже устья р.Нямзей-Сё	3680	207		0,07		10
6	Морды-Яха – 8,0 км ниже устья р.Сё-Яха	7640	240		0,06		13
7	Недарма-То-Сё – 1,5 км выше устья	39,4	4,0				
8	Сё-Яха – 30 км выше устья	3480	219	9	0,08	20	16
9	Руч.Основной – 0,02 км ниже устья руч.Антропогенного	0,98	0,60		0,02	0	0
10	Надуй-Яха – 159 км выше устья	1050	110	32	0,48	3	2
11	Пя-Седей-Яха	114	52			36	4
12	Ярапензя	36,7	12,2			34	2
13	Руч.Осоковый	8,33	4,4			38	8
14	Руч.Файн-Яха	8,31	6,8			35	0
15	Руч.Домашний	0,76	0,52			53	0
16	Пухуча-Яха	273	171			3,3	2,4
17	Руч.Овражный	9,34	5,2			0	0
18	Нгарка-Хасуй-Яха	147	44			3,1	0,7
19	Руч.Безымянный	2,23	3,1			0	0

Примечание. Бассейны рек, замыкаемые постами под №№ 4-19, равнинные, их средние высоты меньше 80 м.

**Особенности формирования стока весенне-летнего половодья. Методические подходы к получению характеристик и связей стока половодья в пунктах наблюдений**

Сток рек полуострова отличается крайне неравномерным распределением внутри года. До 90% его проходит в период весенне-летнего половодья, на спад которого могут накладываться дождевые паводки. Максимумы дождевых паводков, наблюдающихся в летне-осеннюю межень, ниже весенних. Объем дождевого стока не превышает 17%. Подземный сток незначительный, 3-6%, осуществляется преимущественно за счет сезонного оттаивания деятельного слоя грунтов. Зимой многие реки промерзают полностью.

Половодье начинается в южной части полуострова в середине мая, в северной – в конце первой – начале второй декады июня. Максимальные расходы воды проходят, соответственно, в первой и третьей декадах июня. Гидрограф преимущественно одновершинный, но при значительном колебании температуры воздуха или выпадении дождей имеет несколько пиков. Продолжительность половодья от 1,0-1,5 месяцев на юге до 1,5-2,0 месяцев на севере.

Во время половодья происходят большие разливы рек, чему способствуют небольшие врезы русел, широкие поймы, интенсивная водоотдача, приток талых вод по мерзлым грунтам, заторы льда, а на приустьевых участках рек, впадающих в окружающие полуостров водоприемники, – нагоны воды при сильных ветрах.

Большинство рек характеризуются сходными условиями формирования стока. Реки с азональными условиями при установлении районных связей между гидрометеорологическими элементами не использовались. На таких реках в условиях слабой гидрологической изученности территории, сложном водном режиме рек, отсутствии стационарных пунктов наблюдений на зональных реках, при коротких или относительно коротких (в переходный климатический период)

рядах наблюдений, сложном расположении точек слоя стока  $h$  и максимальных расходов воды  $Q$  на графиках связей, возникают трудности в обработке данных наблюдений, в приведении их к многолетнему периоду, в обобщении характеристик стока. В таких случаях, принимая за основу нормативный способ, его приходится корректировать в соответствии с существующими реалиями или применять нестандартные подходы.

## **Максимальный сток больших рек юго-запада тундры**

### **Река Щучья**

На юго-западе тундры Западной Сибири с 40-60-х годов 20 века действовало три стационарных ГП Гидрометслужбы (с 1991 г. – два) на относительно больших для рассматриваемого района реках Щучья и Сось. Площади их водосборов соответственно 12300 и 5890 км<sup>2</sup>. Река Щучья является одной из азональных рек тундры. Как указывалось выше, она течет с гор, дальше – по равнине. Сток, формирующийся на равнине, представляет интерес для сопоставления его с реками полуострова. Для его определения рассчитаны многолетние характеристики  $h$  и  $Q$  на ГП «Щучье», учитывающем сток со всего изучаемого водосбора, и ГП «Лаборова», учитывающем сток с горной части водосбора. Затем по разности погодичного стока на этих ГП рассчитаны характеристики стока с равнины.

### **ГП Щучье**

Наблюдения за стоком реки в створе ГП проводились в 1944-1990 гг., имеются пропуски наблюдений. Устранение недостатков и удлинение рядов наблюдений выполнялось по аналогии с р.Щучья-д.Лаборова и р.Сось – пгт Харп.

Значения коэффициентов корреляции слоя стока половодья между постами пар удовлетворительные – соответственно, 0,77 и 0,83 (рис.2). Ряд совместных наблюдений  $h$  на ГП «Щучье» и ГП «Харп» не охватывает всей многолетней амплитуды изменения этой характеристики. Для более обоснованной экстраполяции линии связи вверх автор использовал частично, способ, предложенный Г.А. Алексеевым [Алексеев, 1955]: увязку кривой связи по данным наблюдений с расчетными значениями  $h$ , определенными на каждом из ГП по кривым обеспеченности вероятностей. Для этого на график дополнительно наносятся расчетные значения  $h$ , и общая линия связи проводится с их учетом. Автор ограничился нанесением на связь одной точки  $h$ , обеспеченностью 1%, которая помогла ориентировать ее. В дальнейших расчетах использован метод отношений. На ГП «Щучье» этим методом восстановлены значения  $h$  для 8 лет пропусков наблюдений ( $Q$  – за 3 года) и за 26 лет – до начала и после прекращения наблюдений; восстановлены значения ежедневных расходов воды в разные фазы половодья пяти лет, пересчитан сток на подъеме половодья двух лет, для одного из двух наибольших наблюденных максимумов рассчитан неизмеренный сток на пойме. Получены ряды продолжительностью 63 года (1952-2015 гг.); ряд  $h$  неоднородный вследствие значительного нарушения в часть лет преобладающего соотношения стока горной и равнинной частей бассейна; ряд  $Q$  однородный благодаря регулирующему влиянию Большого Щучьего озера, из которого река вытекает.

Аналитические кривые обеспеченности и составная кривая обеспеченности (КО) слоя стока половодья на ГП «Щучье» неудовлетворительно согласуются в своих верхних частях с семью верхними эмпирическими точками (их обеспеченность  $p = 1,6-11\%$ ), которые оказываются выше линии связи. Эти точки характеризуют  $h$ , наблюдавшиеся в последние 25 лет (1991-2015 гг.). Это дает основание считать, что их распределение в ранжированном ряду – относительно самостоятельная закономерность, отражающая новые условия формирования больших максимальных слоев стока (и расходов воды) половодья на данном этапе изменения климатических условий (а также антропогенных изменений на поверхности речных водосборов). Последние проявляются в том, что уже несколько десятилетий в разных регионах России и мира возросли размеры и повторяемость наступления экстремальных максимумов природных явлений [Георгиевский и др., 2019(№4), 2019(№ 11); Семенов и др., 2015]. Эти факторы должны дополнительно учитываться при статистическом анализе формирования максимального стока, с

тем чтобы избежать занижения расчетных значений  $h(Q)$ . Для их учета АКО  $h$  на ГП «Щучье», принятая за исходную, графически сглажена в верхней части, в зоне  $p < 10\%$ : линия регрессии проведена непосредственно в поле указанных семи точек. Подобное расположение небольшого числа эмпирических точек (трех-семи) наблюдается также в верхних частях аналитических и составных КО  $h$  (и  $Q$ ) на ГП р. Сось - пгт Харп и р. Щучья – д. Лаборовая. На всех трех ГП верхние участки КО  $h$  сглажены в зоне обеспеченностей  $p \leq 3-10\%$ , КО  $Q$  – в зоне  $p \leq 5\%$ . За счет этого значения  $h_{1\%}$  возросли на 3-9%, значения  $Q_{1\%}$  – на 12-18%. Сглаживание верха КО  $h$  (и  $Q$ ) правомерно и в случаях, когда аномально высоких значений этих элементов после 1990 г. не было, но они наблюдались до этого. Так как если они формировались в прежних климатических условиях, то тем более они могут повторяться в современных климатических реалиях.

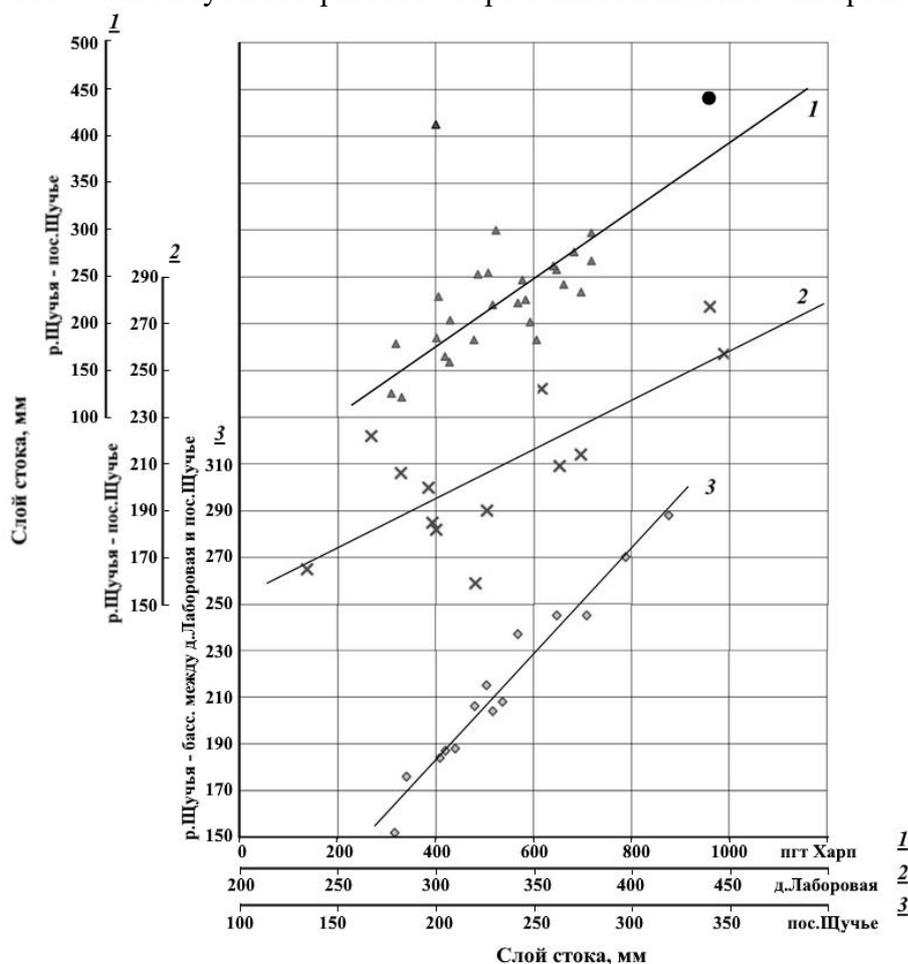


Рис. 2. Графики связи слоя стока весенне-летнего половодья между ГП. **Обозначения:** 1 – р. Щучья - пос. Щучье и р. Сось - пгт Харп ( $R = 0,83$ ), точка (●) характеризует слою стока обеспеченностью 1%; 2 – р. Щучья - пос. Щучье и р. Щучья - д. Лаборовая ( $R = 0,77$ ); 3 – р. Щучья - бассейн между д. Лаборовая и пос. Щучье и р. Щучья - пос. Щучье ( $R = 0,98$ )

В формировании максимальных расходов воды в створе ГП «Щучье» участвует сток горной части бассейна, в которой среднемноголетнее значение максимального модуля стока  $q_0$ , на ГП «Лаборовая», достаточно высокое,  $169 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ . Но ниже по течению, в равнинной части бассейна до ГП «Щучье» (площадь в 8,6 раза больше горной), оно пониженное,  $72 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ , вследствие чего существенно нивелирует сток горной части. В результате значение  $q_0$  на ГП «Щучье» составляет  $90 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ , приближаясь к таковым, с учетом разницы площадей водосборов, других рек полуострова ( $q_0$  – среднемноголетнее значение модуля максимального стока).

Многолетний ряд  $Q$  в створе ГП «Щучье» получен по аналогии с рядом  $Q$  на ГП р. Сось – пгт Харп. На графике связи  $Q$  (рис. 3) – две группы точек, из которых основная масса (связь 1а) характеризует  $Q$  в годы со сходной в обоих бассейнах дружностью половодий; коэффициент корреляции связи для 91% точек  $R = 0,86$ . Вторая группа точек (связь 1б) характеризует  $Q$  в годы с

дружной весной и половодьем на р. Щучьей и недружной при этом весной в полугорном бассейне р. Сось выше пгт Харп. Такое несовпадение дружности весен можно объяснить тем, что приходившие в регион теплые циклонические фронты охватывали, главным образом, равнинную часть территории (в частности, бассейн р. Щучьей между д. Лаборовая и пос. Щучье) и в значительно меньшей степени – полугорные районы (в частности, бассейн р. Сось выше пгт Харп) и горные. Степень дружности половодий, сформировавших Q на связи 1b, можно характеризовать продолжительностью подъема волны половодья, составляющей в среднем 12 суток, сформировавших Q на связи 1a – в среднем 32 суток, т.е. в 2,7 раза дольше. Наличие тесной связи 1a позволяет использовать для удлинения ряда Q метод отношений, он принят, т.к. дает возможность учесть существенные отклонения Q, отраженные связью 1b.

Аналитические КО Q на ГП «Щучье» при разных соотношениях  $C_s/C_v$  ( $C_s$  – коэффициент асимметрии,  $C_v$  – коэффициент вариации) неудовлетворительно согласуются с пятью верхними точками. Так, по АКО Q при  $C_s/C_v = 3,0$ , значение  $Q_{1\%}$  оказывается равным  $1800 \text{ м}^3/\text{с}$ , практически совпадая с двумя наивысшими Q, прошедшими в 1958 и 1972 гг. Но  $Q_{1\%}$  может быть существенно больше, т.к. Q в 1958 г. сформировался благодаря дружной весне при малом  $h$  (254 мм, его  $p \approx 40\%$ ). В ряду же наблюдений значения  $h$  достигали, например, 369-413 мм (их  $p = 5,5-1,6\%$ ) четыре раза; при дружной весне они сформируют более высокие Q. Формирование аномально высоких максимальных Q при небольшом  $h$  может происходить в условиях, когда при большой сумме предшествующих осадков осенне-зимнего периода и июня ( $\sum X_{X-VI}$ , далее  $\sum X$ ) значительная их часть пошла осенью или/и весной на заполнение малоувлажненных к осени макро- и микропонижений рельефа бассейна. И только оставшаяся часть  $\sum X$  формирует слой стока. Аномально высокими, как и аномально низкими, следует считать максимальные Q, формирующиеся при особом, нехарактерном для массы остальных лет, сочетании физико-географических факторов максимального стока.

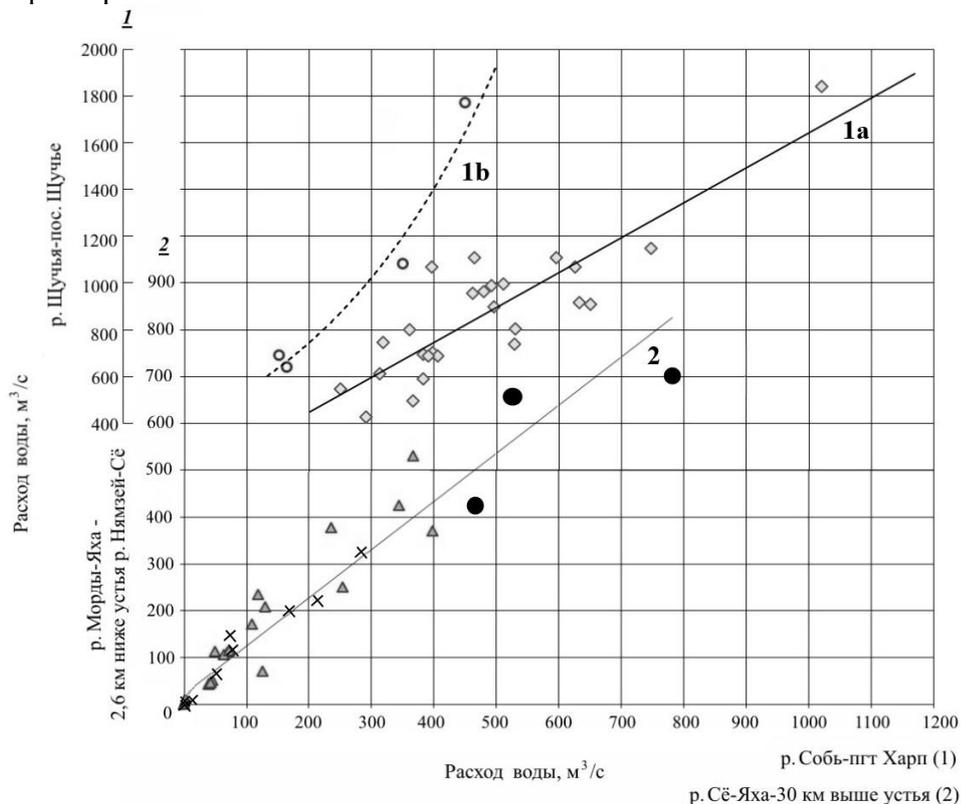


Рис. 3. Графики связи расходов воды весенне-летнего половодья между ГП. **Обозначения:** 1 – максимальные расходы воды р. Щучья - пос. Щучье и р. Сось - пгт Харп: а - в годы со сходными в бассейнах условиями формирования расходов ( $R = 0,86$ ), б - в годы с дружным половодьем на р. Щучья - пос. Щучье и недружным половодьем на р. Сось - пгт Харп ( $R = 0,98$ ); 2 – среднедекадные, среднемесячные и максимальные расходы воды р. Морды-Яха - 2,6 км ниже устья р. Нямзей-Сё и р. Сё-Яха - 30 км выше устья ( $R = 0,98$ ). На линии связи (2) кружками показаны максимальные значения, крестиками – средние за месяц, треугольниками – средние за декаду

Значительная озерность бассейна р.Щучьей оказывает на ее максимальный сток разной повторяемости неоднозначное влияние. В период прохождения максимумов проточные озера остаются замерзшими и не участвуют в их формировании. Бессточные озера и озера, удаленные от реки, несмотря на наличие протоков, за счет частичной аккумуляции поступающих в них талых вод снижают максимальный сток, глубокие бессточные озера равнинной части бассейна удерживают все талые воды. В отдельные многоводные весны при переполнении котловин мелких и части средних бессточных озер талые воды из них поступают в реки, еще покрытые льдом, тем самым увеличивая максимальные расходы воды ниже по течению. По данным экспедиционных измерений В.В. Бородулина (ФГБУ «ГГИ»), скорости течения в коротких прорывах могут достигать 3-5 м/с. Таким прорывам способствуют ослабленные участки берега и склонов котловины озер вследствие приближения к ним верховьев оврагов и логов, наличие оползней-сплывов, в которых может быстро развиваться овраг, длительной суффозии, перелива воды через пониженный берег и склон котловины, размыва берега озера рекой.

Сток из бессточных озер может происходить при снегозапасах, меньших максимальных, при условии высоких осенних уровней и дружных весен. На месте спущенных озер остаются хасыреи – сильно увлажненные днища котловин, зарастающие гидрофильной флорой. Суммарная площадь зеркала бессточных озер, установленная Е.В. Орловой (ФГБУ «ГГИ») анализом картографических, литературных и архивных материалов, составляет здесь 390 км<sup>2</sup>, водосборная площадь – 1660 км<sup>2</sup>. Средневзвешенная озерность, обусловленная бессточными озерами,  $A_{\delta_{оз}} = 0,8\%$ . Поскольку они весной подобны проточным непромерзающим озерам, для расчета коэффициента снижения слоя стока половодья применима формула:

$$\delta_{\delta_{оз}} = 1/(1+C \cdot A_{\delta_{оз}}), \quad (1)$$

где  $C$  – коэффициент, учитывающий уменьшение влияния средневзвешенной озерности бассейна  $A_{\delta_{оз}}$ , с увеличением среднесуточного слоя стока половодья  $h_0$ .  $C = 0,11$  согласно «Пособию по определению основных расчетных гидрологических характеристик». В результате  $\delta_{\delta_{оз}} = 0,9$ .

Таким образом, в формировании наивысших максимальных расходов воды в створе ГП «Щучье» участвует весь или почти весь водосбор, а остальных максимумов – его часть, уменьшенная на суммарную площадь водосбора бессточных озер. Аналогично максимальные расходы могут формироваться и на других реках полуострова в зависимости от количества, размера, глубины, расположения, соотношения больших и малых бессточных озер.

### **ГП «Лаборовая»**

Наблюдения за стоком проводятся с 1966 г., имеются пропуски. Восстановлены значения  $h$  за 15 лет пропусков наблюдений (значения  $Q$  – за 10 лет), ряды  $h$  и  $Q$  удлинены до 63 лет по аналогии с ГП «Щучье», ряды однородные. Аналитическая КО сглажена в зоне обеспеченностей  $p \leq 3\%$ . На графике аналитической КО  $Q$  четко выделяется группа из 6 верхних точек. Их распределению наилучшим образом соответствует, в целом, составная КО, но и ее положение в зоне обеспеченностей меньше 5%, где кривая существенно наклоняется и проходит ниже трех верхних точек, не может быть обосновано физическими процессами на водосборе реки. Расположение всех шести точек практически по прямой предопределяет необходимость проведения расчетной линии регрессии в их поле между двумя верхними точками, сглаживая таким образом верх общей кривой.

### **Бассейн между ГП «Лаборовая» и ГП «Щучье»**

Значения  $h$  и  $Q$  половодья, формирующихся на равнинной части бассейна р.Щучьей между ГП «Лаборовая» и ГП «Щучье», рассчитаны за каждый год совместных наблюдений через разность в этих створах объемов стока за период половодья, а также суток с наибольшим расходом воды. Полученные ряды приведены к многолетнему периоду по данным на ГП «Щучье» методом отношений. Коэффициенты корреляции связей слоя стока с этим ГП  $R = 0,98$  (см. рис. 2),

максимальных расходов воды  $R = 0,86$ . Как и на ГП «Щучье», ряд  $h$  неоднородный, ряд  $Q$  однородный.

Несмотря на отличие части физико-географических характеристик бассейна р. Щучьей от других рек полуострова, данные о ее стоке, формирующемся на равнине, могут быть использованы непосредственно в обобщении весеннего стока рек территории. Для этого исключено влияние на максимальный сток бессточных озер, уменьшение которыми слоя стока половодья оценивается, как указывалось выше, коэффициентом снижения стока  $\delta_{\delta \text{ оз}} = 0,9$ . При отсутствии бессточных озер  $h_{1\%}$  должен был бы составлять не 403 мм, а 448 мм, а  $q_{1\%} = 386 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ . Оба значения  $h_{1\%}$  - того же порядка, что и на наибольших по площади водосбора реках гидрологических стационаров – Пя-Седей-Яха и Нгарка-Хасуй-яха – соответственно, 403, 393 и 351 мм; то же для среднемноголетних значений  $h$  – 224, 253 и 225 мм (см. табл.2).

Таблица 2

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

№ п/п	Река-пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период наблюдений		Характеристика	За многолетний период			Максимальный сток половодья обеспеченностью, %				
			число лет	годы		$h$ , мм	$C_v$	$C_s/C_v$	1	3	5	10	25
1	Собь – пгт Харп	1240	63	1952-2005, 2007-2015	$h$	573	составная КО		931	882	847	769	652
					$Q$	503	0,34	4,0	1100	930	840	723	589
2	Щучья – д.Лаборовая	1680	35	1966-2015	$h$	314	0,27	3,0	610	515	470	414	362
			40		$Q$	284	составная КО		660	560	506	424	321
3	Щучья - пос.Щучье	10600	28	1955-1990	$h$	246	0,25	3,0	440	395	370	333	281
			33	1944-1990	$Q$	950	0,30	3,0	2130	1690	1510	1330	1110
4	Щучья – бассейн между д.Лаборовая и пос.Щучье	8920	13	1966-1990	$h$	224	0,26	4,0	403	364	341	308	259
			19		$Q$	643	0,32	4,0	1460	1160	1020	885	749
5	Морды-Яха – 2,6 км ниже устья р.Нямзей-Сё	3680	3	2009-2011	$h$	260	0,27	-2,1	394	374	362	344	310
					$Q$	839	0,44	2,75	2010	1680	1530	1320	1030
6	Морды-Яха – 8,0 км ниже устья р.Сё-Яха	7640	3	2009-2011	$h$	209	0,27	-2,2	315	300	291	277	250
					$h'$				302	290	283	272	250
					$Q$	1500	0,44	2,75	3580	3010	2740	2360	1840
					$Q'$				3250	2770	2550	2240	1840
7	Недарма-То-Сё – 1,5 км выше устья	39,4	1	2009	$\overline{Q_n}$				130	114	75,2	55,6	46,3
					$\overline{Q_c}$				144	126	83,6	61,7	51,4
					$Q_n$				336	315	231	208	134
					$Q_c$				231	224	166	150	94,9
8	Сё-Яха – 30 км выше устья	3480	12	2004-2015	$h$	224	0,29	-2,1	347	329	318	302	271
					$h'$				334	319	310	297	271
					$Q$	799	0,46	3,5	2040	1660	1490	1270	967
					$Q'$				1710	1420	1300	1150	967
9	Руч.Основной – 0,02 км ниже устья руч. Антропогенного	0,98	14	1992, 1993, 2004-2015	$h$				403				
					$Q$				2,36				
10	Надуй-Яха - 159 км выше устья	1050	1	2011	$h$	263	Значения $h$ и $Q$ – за 2011 г.						
					$Q$	376							
11	Пя-Седей-Яха	114	10	1982-1991	$h$	253	0,23	0,5	393	364	350	327	291
					$Q$	46,0	0,31	-1,6	74,0	69,7	67,3	63,4	56,2
12	Ярапензя	36,7	9	1982-1990	$h$	272	0,17	5,9	415	375	357	333	297
					$Q$	16,3	0,43	3,0	38,9	32,5	29,6	25,5	19,9
13	Руч.Осоковый	8,33	10	1982-1991	$h$	264	0,19	6,0	422	376	357	329	290
					$Q$	4,28	0,62	3,4	13,3	10,4	9,14	7,49	5,34
14	Руч.Файн-Яха	8,31	7	1982-1988	$h$	290	0,18	6,7	454	409	388	360	320
					$Q$	4,63	0,57	4,6	14,2	10,9	9,46	7,73	5,58
15	Руч.Домашний	0,76	9	1982-	$h$	223	0,23	-6,1	291	286	283	276	260

				1990	$Q$	0,37	0,58	2,8	1,10	0,88	0,78	0,65	0,47
16	Пухуча-Яха	273	6	1986-	$h$	248	0,20	-1,7	351	334	324	310	283
				1991	$Q$	113	0,44	3,6	280	230	207	177	137
17	Руч.Овражный	9,34	5	1986-	$h$	272	0,17	1,4	386	362	351	332	303
				1990	$Q$	4,87	0,25	0,0	7,64	7,13	6,86	6,45	5,72
18	Нгарка-Хасуй-Яха	147	6	1986-	$h$	225	0,16	-2,4	299	287	280	270	251
				1991	$Q$	48,9	0,44	2,6	116	97,9	89,2	77,2	60,3
19	Руч.Безымянный	2,23	4	1986-1989	$h$	259	0,15	1,0	354	335	325	310	285

Примечания

1. Для ГП под №№ 1-4 в графе 5 приводится период их действия, но в наблюдениях имеются пропуски.
2. На ГП под № 2-4 приведены статистические параметры многолетних рядов  $h$  и  $Q$ , аналитические кривые обеспеченности (АКО) которых графически сглажены в зоне малых обеспеченностей.
3. На ГП под № 5, 6, 7, 9, 10 наблюдения проводились только в весенне-летний период.
4. На ГП под № 6 и 8 в строках  $h'$  и  $Q'$  приведены значения характеристик при наличии оттока воды из р. Сё-Яха выше ГП в р.Надуй-Яха.
5. На ГП под № 7  $\overline{Q}_п$  и  $\overline{Q}_с$  – средние расходы воды при затоплении бассейна водами р. Морды-Яха соответственно в период подъема и период спада волны половодья,  $Q п$  и  $Q с$  – максимальные среднесуточные расходы воды при подъеме половодья и спаде волны половодья.
6. На руч. Основной сток на ГП в 1992-1993 гг. – ненарушенный хозяйственной деятельностью, позже – нарушенный; многолетние характеристики определены на основании данных 1992-1993 гг.
7. На ГП под №№ 11-19 параметры АКО в графе 8 и квантили  $h$  и  $Q$  в графе 9 приведены согласно [Новиков, 2009]. На ГП под № 12  $C_s/C_v$   $h$  изменено автором с 10,0 на 5,9.

Полученные в итоге 63-летние ряды  $h$  и  $Q$  весенне-летнего половодья р. Щучьей впервые дали возможность определить многолетние характеристики максимального стока большой для зоны тундры Западной Сибири реки по данным непосредственно о стоке воды (рис. 4, 5). При этом значения характеристик в конкретные годы могут не совпадать с таковыми на других реках полуострова вследствие местных различий в циркуляции воздушных масс и факторов стока. Хронологический многолетний ход  $h$  и  $Q$  в равнинной части бассейна р.Щучьей, в бассейне р.Се-Яха совместно с атмосферными осадками, определяющими весенне-летний сток, представлен на рисунке 6. Из него следует, что в период с 2004 г. изменение  $h$  и  $Q$ , формирующихся в равнинной части бассейна р.Щучьей и в бассейне р.Се-Яха, расположенной в средней части полуострова (расстояние между центрами этих бассейнов 300 км), происходят, в целом, синфазно. Это свидетельствует о том, что указанные бассейны достаточно близки по условиям формирования максимального стока.

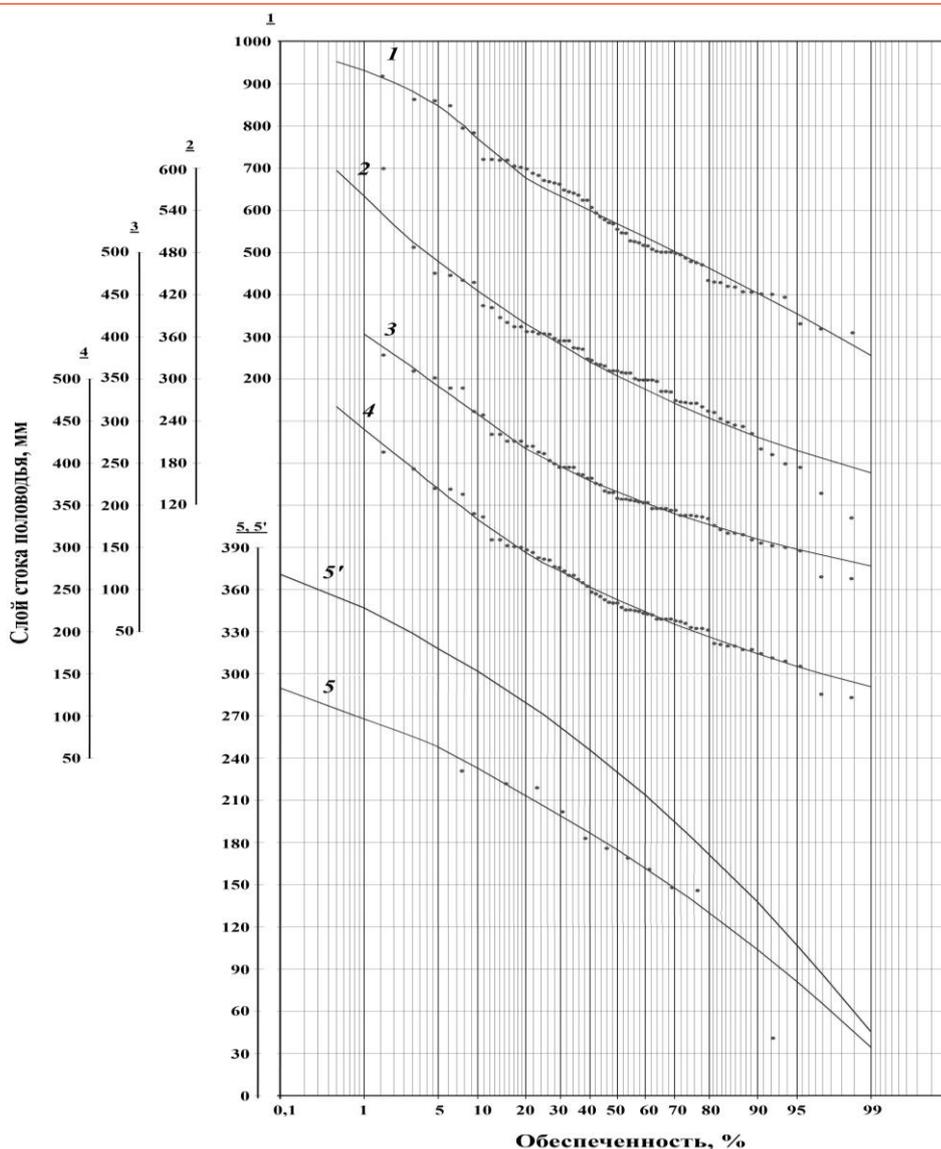


Рис. 4. Кривые обеспеченности слоя стока весенне-летнего половодья. *Обозначения:* 1 – р. Собь – пгт Харп; 2 – р. Щучья - д. Лаборовая; 3 – р. Щучья - бассейн между д. Лаборовая и пос. Щучье; 4 – р. Щучья - пос. Щучье; 5 – р. Сё-Яха - 30 км выше устья для периода наблюдений, 5' – для многолетнего периода

### Река Собь

Река Собь, начинающаяся на восточном склоне Полярного Урала, протекает по лесотундре (лесистость – 2%), ГП «Харп» фиксирует сток горной части водосбора. Ряды наблюдений  $h$  и  $Q$  неоднородные. Неоднородность ряда  $Q$  можно объяснить повышено разными условиями формирования максимумов в конкретные годы, приводящими в результате к разной доле стока основной волны половодья, непосредственно определяющей размер расхода, в общем стоке половодья. Весны разного характера формируют гидрографы разного вида: одновершинные – с интенсивным нарастанием стока через несколько суток после начала половодья; одновершинные, в которых основной волне предшествует постепенное продолжительное (10-15, иногда более, суток) увеличение стока и/или продолжительный спад после окончания основной волны; многовершинные (2-3 пика), они обусловлены возвратом холодов и чередующимися осадками. В первом случае расход основной волны формируется наибольшей частью объема стока половодья (в среднем 65%), во втором случае – 55%, в третьем случае – 38%. Преобладают гидрографы первого и третьего видов – в 37 и 41% случаях. Но существует важное различие: во многие годы вид гидрографов равнинных рек территории не совпадает с гидрографом р. Собь: например, в 11-летнем периоде совместных наблюдений с р. Сё-Яха гидрографы с двумя-тремя волнами

наблюдались шесть раз, а на р. Сё-Яха - один раз. Отметим, что размер слоя стока всего половодья не зависит в данном году от числа волн.

Дополнительной причиной неоднородности ряда  $Q$  р. Сось является тот факт, что при близких  $h_{пол.}$  в разные годы максимальные расходы воды формируются при весьма различающихся  $h_{осн.}$

Неоднородность рядов дает основание, как и иные обстоятельства, дополнять статистический анализ характеристик стока рек другими приемами обработки данных. В связи с этим аналитическая кривая обеспеченности максимальных расходов воды на ГП р.Сось - пгт Харп незначительно сглажена графически в зоне обеспеченностей  $p \leq 5\%$ , чтобы полнее учесть две верхних, заметно отклоняющихся от остальных, точки. Сглаживание тем более обосновано, что число точек экстремальных значений  $Q$  в зоне малых обеспеченностей будет, вероятно, ускоренно возрастать в современных меняющихся климатических условиях, а сглаженная кривая будет удовлетворительно им соответствовать.

Река Сось в створе пгт Харп принята в качестве аналога для ГП «Щучье», как имеющая непрерывный 63-летний ряд наблюдений за стоком. Принятие правомерно, учитывая близость реки к бассейну, замыкаемому ГП «Лаборовая», по расположению (ГП «Харп» находится в 120 км южнее), экспозиции, площади водосбора и средней высоте. Поскольку существует связь максимального стока между ГП «Лаборовая» и ГП «Щучье», то должна существовать и связь между ГП «Харп» и ГП «Щучье» - она подтверждается коэффициентами корреляции между слоями стока на парах постов, равными, соответственно, 0,77 и 0,83.

Значения слоя стока половодья на ГП «Харп» существенно больше, чем на ГП «Щучье», в среднем за многолетний период в 2,3 раза, в год обеспеченностью 1% - в 2,1 раза (табл.2). Причина явления – в большем количестве осадков  $\sum X$ , выпадающих в бассейне выше ГП «Харп» по сравнению с бассейном ГП «Щучье». На метеостанции Ра-Из, характеризующей метеоусловия в первом бассейне, по сравнению с метеостанцией Салехард, характеризующей второй бассейн, сумма осадков была в среднем за 1967-1995 гг. в 2,0 раза больше, а в многоводную весну 1972 г. – в 2,9 раза больше.

## Максимальный сток малых рек полуострова

В 80-х годах 20 века ЗСЭ ФГБУ «ГГИ» исследовались 9 малых рек и ручьев, из которых пять находятся в южной части полуострова (Новопортовский гидрологический стационар, в табл.2 – ГП под №№ 11-15, период действия 7-10 лет) и четыре – в северной части полуострова (Бованенковский стационар, в табл.2 – ГП под №№ 16-19, период действия – 4-6 лет). Площади водосборов  $A \leq 273$  км<sup>2</sup>. Данные кратковременных наблюдений приведены к многолетнему периоду с использованием данных об осадках и температуре воздуха на ближайших метеостанциях. Часть водотоков стационаров, даже очень близких по площади водосбора, имеет существенно различные значения характеристик максимального стока (см. табл. 2). Так, руч. Домашний и р. Нгарка-Хасуй-Яха отличаются пониженным слоем стока половодья. Пониженный сток ручья Домашнего может быть обусловлен сочетанием небольшого объема водосбора до бровок склонов долины, ориентацией ее на север, заболоченностью 53%. В связи с этим в многоснежные зимы водосбор не вмещает всего объема переносимого через него ветром снега, снегозапасы к весне понижены, понижен и сток; в то же время, ориентация ручья способствует тому, что снег, переносимый северными ветрами, перехватывается долиной р. Пя-Седей-Яха, в которую ручей впадает, а переносимый южными ветрами сносится вдоль по ручью, под уклон, в реку; неровности поверхности болот, занимающих более половины водосбора (вогнутости, мерзлотные трещины, валики), аккумулируют некоторую часть талых вод.

Пониженный максимальный сток р. Нгарка-Хасуй-Яха можно объяснить суммарным влиянием одновременно нескольких факторов, которые по отдельности неспособны оказать заметного влияния из-за недостаточно большого распространения. Это озера в пойме реки, заросли растительности вокруг них, овражность, мощные надувы снега в низовьях крутых вогнутых наветренных склонов. Вероятно, также, что река может недополучать часть снега, переносимого зимой юго-западными и южными ветрами, которая перехватывается более крупной р. Пухуча-Яха, граничащей с р. Нгарка-Хасуй-Яха с юга; бассейны этих рек смежные, течение приблизительно в одном, широтном, направлении, указанные ветры пересекают их под большими углами.

Ручьи Безымянный и Овражный (площадь водосбора, соответственно, равна 2,23 и 9,34 км<sup>2</sup>) имеют, при значительных слоях стока половодья  $h_{1\%}$  (354 и 386 мм), пониженные для своих площадей водосборов модули максимального стока  $q_{1\%}$  (1050 и 818 л/с·км<sup>2</sup>); последние практически такие же, как на более крупных реках Нгарка-Хасуй-Яха и Пухуча-Яха. Это может быть объяснено меньшей интенсивностью снеготаяния и притока воды к створам ГП вследствие большей глубины долин ручьев, в которых при одинаковом количестве нанесенного в гидрографическую сеть зимой ветрами снега в глубоких и узких формах накапливается к весне слой снега большей высоты, плотности, затененности, чем в других формах, что обуславливает замедление таяния. Понижение может достигать 35%.

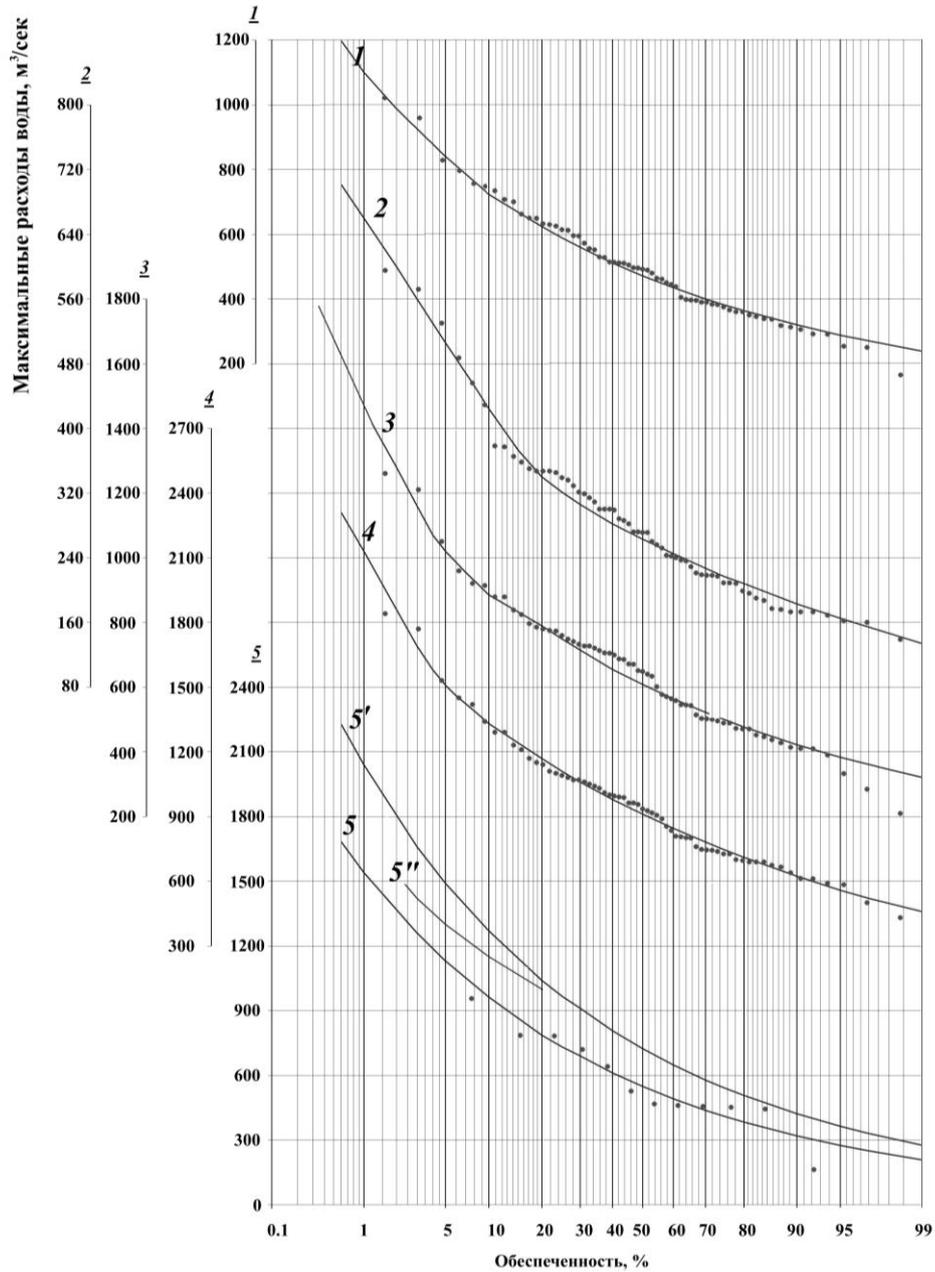


Рис. 5. Кривые обеспеченности максимальных расходов воды весенне-летнего половодья. *Обозначения:* 1 – р. Сось – пгт Харп; 2 – р. Щучья-дер. Лаборовая; 3 – р. Щучья-бассейн между д. Лаборовая и пос. Щучье; 4 – р. Щучья-пос. Щучье; 5 – р. Сё-Яха-30 км выше устья для периода наблюдений, 5' – для многолетнего периода, 5'' – при наличии оттока из р. Сё-Яха выше ГП в р. Надуй-Яха

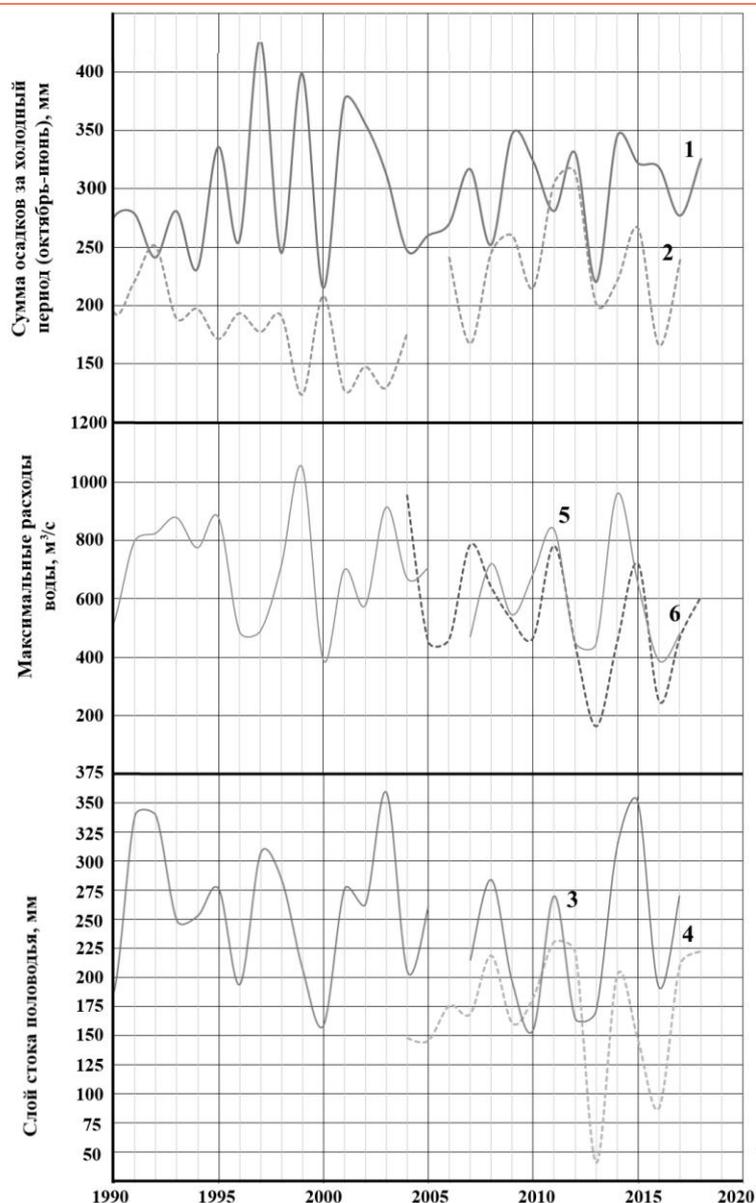


Рис.6 Многолетние колебания сумм предвесенних осадков холодного периода года и июня на метеостанциях Салехард (1) и Марре-Сале (2), слоя стока половодья в равнинной части бассейна р. Щучьей (3) и в бассейне р. Се-Яха – 30 км выше устья (4), максимальных расходов воды в равнинной части бассейна р. Щучьей (5) и в бассейне р. Се-Яха – 30 км выше устья (6)

Дополнительным пунктом, для которого автором статьи получены, опираясь на данные наблюдений, приблизительные значения  $h_{1\%}$  и  $Q_{1\%}$ , явился створ р. Пухуча-Яха ниже впадения в нее р. Нгарка-Хасуй-Яха. На этих двух реках и на ручье Безымянном, впадающем в последнюю, действовало три ГП ЗСЭ ФГБУ «ГГИ», расположенных близко друг к другу [Новиков, 2009], образуя здесь узел водотоков и пунктов наблюдений. В гипотетическом, замыкающем узле, створе р. Пухуча-Яха ниже устья р. Нгарка-Хасуй-Яха значения  $h_{1\%}$  и  $q_{1\%}$  вычислены как суммы средних взвешенных значений элементов трех постов.

По данным наблюдений экспедиции за стоком рек, высотой снега на метеостанциях полуострова, установленному распределению высоты снежного покрова по территории Ямала и проведенным гамма-съемкам, Ю.П. Москвиным составлена карта среднемноголетнего стока весенне-летнего половодья рек полуострова [Новиков, 2009].

### Максимальный сток рек и ручьев средней части полуострова

Комплексные исследования водотоков территории начаты в 2004 г. экспедицией ОМЭИ ФГБУ «ГГИ» и проводились в 2009-2011 гг. на пяти реках и ручьях, на двух из них ведутся по настоящее время (в табл.2 – ГП под « 5-10»). Площади водосборов – от 0,98 до 7640 км<sup>2</sup>.

### Река Сё-Яха

Реку Се-Яха можно отнести к средним на полуострове. Вытекает из оз.Нейто, длина до ГП 219 км, до наиболее удаленной точки бассейна – 283 км. Из реки выше ГП, с правого берега, в многоводные дружные весны может происходить отток части вод в соседнюю р.Надуй-Яха. При гидрографическом обследовании реки Ю.П. Москвиным (ФГБУ «ГГИ») установлено по меткам уровня высоких вод, что отток возможен – в условиях ненарушенного режима – при  $Q$  обеспеченностью  $p < 25\%$ , а при естественном  $Q$  обеспеченностью 1% отток составляет 330 м<sup>3</sup>/с (значения  $Q$  оттока других обеспеченностей определены автором статьи по интерполяции). Наименьший отток, например, с  $Q_{от}$  обеспеченностью 10% (120 м<sup>3</sup>/с), может происходить при естественном  $Q$  порядка 1270 м<sup>3</sup>/с. В 12-летний период наблюдений на р.Се-Яха наибольший мгновенный  $Q$  составил 955 м<sup>3</sup>/с (при среднесуточном  $Q$  617 м<sup>3</sup>/с), поэтому оттока из реки не происходило. Но ряд наблюдений за стоком половодья – нерепрезентативный, поскольку отличается небольшой в целом водностью: средний слой стока половодья  $\bar{h}$  составил 170 мм, его обеспеченность – 75%. В этот период сток только четырех лет был близок к среднему многолетнему значению (202-231 мм), сток семи лет был пониженным (142-183 мм), еще один год (2013) – чрезвычайно низким (41 мм). Приведение ряда  $h$  к многолетнему периоду могло быть выполнено по данным об осадках и температуре воздуха на метеостанции «Марре-Сале». Но период наблюдений на метеостанции в 2004-2015 гг. характеризуется в целом повышенными в 1,3 раза суммами осадков предшествующих осенне-зимних месяцев и июня ( $\Sigma X$ ) по отношению к средней  $\Sigma X$  за 78-летний период наблюдений. Использование этого соотношения для определения среднего многолетнего значения слоя половодья  $h_0$  р. Сё-Яха привело бы к неоправданному занижению последнего. Поэтому среднее значение слоя половодья  $\bar{h}$  за период наблюдений приведено к многолетнему периоду с использованием отношения среднего коэффициента поверхностного стока за период наблюдений ( $\bar{\alpha} = 0,73$ ) к коэффициенту, который установлен ( $\alpha_0 = 0,96$ ) и принят [Новиков, 2009] для построения карты среднего многолетнего слоя стока половодья рек полуострова:  $K_\alpha = \alpha_0 / \bar{\alpha} = 1,32$ .

Многолетний ряд сумм осадков, предшествующих половодью холодных периодов года и июня, на МС «Марре-Сале» характеризуется по данным за 1937-2015 гг. средним значением  $\Sigma X = 180$  мм,  $C_v = 0,32$ ,  $C_s/C_v = 1,0$ . Имеющиеся данные об осадках на экспедиционной метеостанции «Бованенково» могут использоваться при анализе формирования стока р. Се-Яха ограниченно, т.к. в некоторые годы неполностью характеризуют осадки всего бассейна выше ГП. Так, в 2010-2012 гг.  $\Sigma X$  были меньше, чем слой стока половодья, в среднем, в 1,4 раза. Это объясняется, видимо, тем, что в средней и верхней частях бассейна реки осадков выпало значительно больше, чем в районе метеостанции. Такое положение возможно, поскольку в этих частях бассейна повышенная изменчивость  $\Sigma X$ . Описанная ситуация может определяться узостью фронтальных зон влагонесущих воздушных масс [Справочник по климату СССР, 1968. Вып. 17. Омская и Тюменская области. Часть IV. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Гидрометеиздат, Ленинград.], вследствие которой они могут не захватывать в какие-то годы ту или иную часть речного бассейна.

Аналитическая КО слоя стока половодья р. Сё-Яха  $h$ , получаемая по данным за 12 лет наблюдений, принята при  $C_s/C_v = -2,1$ . Отрицательная асимметрия кривой обусловлена наличием в ряду в 2013 г. очень низкого значения, 41 мм, вызванного малыми в бассейне реки осадками предшествующего холодного периода и июня (117 мм, в 1,8 раза меньше среднего за период наблюдений) и неблагоприятными условиями поверхностного стока. При принятом значении  $C_s/C_v$  АКО удовлетворительно согласуется, в целом, с верхними и средними точками (см. рис.4). При большем отрицательном значении  $C_s/C_v$  возможно занижение  $h$  малой обеспеченности. Верх кривой незначительно сглажен в зоне  $p < 10\%$  путем проведения кривой между тремя верхними

точками - это целесообразно для полноты учета современных условий формирования максимального стока.

Приведение ряда  $h$  к многолетнему периоду осуществлено путем введения переходного коэффициента 1,32 в среднее значение  $h$  за 2004-2015 гг., коэффициент  $C_v$  принят равным 0,29, как для периода наблюдений, он близок к  $C_v \Sigma X$  на МС «Марре-Сале», который равен 0,32.

Формирование максимальных весенне-летних расходов воды р. Сё-Яха происходит на водосборе с большой озерностью. В верховьях реки находится три проточных озера, суммарная площадь зеркала которых – 365 км<sup>2</sup>, площадь водосбора – 912 км<sup>2</sup>. Установлено, что небольшие проточные озера не влияют на размер максимальных расходов воды. Однако при указанной озерности (11% площади, замыкаемой ГП) талые воды, поступая на плоскую ледяную или заснеженную поверхность зеркала озер, будут распластываться, поэтому мгновенные максимальные  $Q$  на выходе из озер должны быть меньше, чем если бы озера отсутствовали или были небольшими. Максимальные же среднесуточные  $Q$  могут здесь существенно не уменьшаться, поэтому в истоке р. Сё-Яха они являются максимальными. Ниже по течению мгновенные максимумы могут превышать среднесуточные значительно (в 2004 г. – на 55%), в частности, за счет дополнительного влияния заторов. В створе ГП мгновенные  $Q$  реки, в первую очередь, малой обеспеченности, не должны испытывать, практически, влияния озер вследствие значительной удаленности поста от истока и увеличения при этом площади водосбора в 2,8 раза. Такой вывод следует из того, что средний за три года совместных наблюдений максимальный модуль стока  $q$  на р. Сё-Яха был не меньше, чем на текущей с более увлажненного юга р. Морды-Яха в створе ГП «2,6 км ниже устья р. Нямзей-Сё» (соответственно, 170 и 162 л/с·км<sup>2</sup>), хотя при близкой площади водосборов, озерность последней, наибольшая в верховьях, в 2,5 раза меньше, и  $q$  должен бы превышать таковой на р. Сё-Яха. Вывод согласуется с исследованиями А.А. Соколова, показавшими, что при увеличении площади водосбора в 3-4 раза по отношению к водосбору в истоке из озера, расположенного в верховьях реки, влияние озера настолько ослабевает, что может не учитываться [Соколов, 1955].

На ГП р. Сё-Яха – 30 км выше устья низкие в период наблюдений слои стока половодья (41-231 мм) обусловили и относительно небольшие максимальные расходы воды: средний  $Q = 571$  м<sup>3</sup>/с, наибольший – 955 м<sup>3</sup>/с. Кривая распределения вероятностей  $Q$  по данным наблюдений за 12 лет принята при  $C_v=0,46$  и  $C_v/C_v=3,5$ . Она хорошо согласуется с девятью верхними и средними точками кривой и проходит через центр тяжести трех нижних точек. Для получения многолетней кривой распределения эта кривая принята за аналог, модель, поэтому многолетняя рассчитана при значениях  $C_v$  и  $C_v/C_v$  фактического ряда. Но среднее многолетнее значение  $Q$  должно быть больше, поскольку существенно больше, чем по фактическому ряду, среднемноголетнее значение  $h$ : в связи с этим размер  $Q$  для условий ненарушенного стока увеличен, пропорционально увеличению  $h$ , в 1,32 раза, и составляет 799 м<sup>3</sup>/с. Значение  $C_v$  находится в соответствии с изменчивостью  $C_v$  максимальной высоты снежного покрова в бассейне (0,5-0,6 и больше), о чем упоминалось выше. Оно сопоставимо также с  $C_v$   $Q$  рек гидрологических стационаров ФГБУ «ГГИ», на которых достигает 0,43-0,62 (см. табл. 2).

В табл.2 для р.Сё-Яха приводятся расчетные значения  $h$  и  $Q$  для условий ненарушенного и нарушенного оттоком водного режима. При разработке проектов целесообразно принимать данные, учитывающие наличие оттока выше расчетного створа, при обязательном условии, что размер оттока определен надежно.

### **Река Морды-Яха. Ручей Основной**

Многолетние характеристики слоя стока половодья р. Морды-Яха на ГП «2,6 км ниже устья р. Нямзей-Сё» и «8,0 км ниже устья р. Сё-Яха» получены с использованием графиков связи декадных, месячных и максимальных годовых расходов воды за три года совместных наблюдений с ГП р. Сё-Яха – 30 км выше устья. Коэффициенты корреляции связей  $R$  соответственно 0,97 и 0,93. Также по этим связям определены многолетние характеристики максимальных расходов воды р. Морды-Яха в указанных створах.

Ручей Основной находится в районе ГП на р. Сё-Яха. В первые два года наблюдений, 1992 и 1993 гг., его сток был практически не нарушен хозяйственной деятельностью, но при возобновлении наблюдений в 2004 г. она стала влиять на режим ручья. В связи с этим обеспеченность весенне-летнего стока указанных двух лет, который был очень высоким, оценена без учета остальных лет, по данным на метеостанции «Марре-Сале»: с использованием переходного коэффициента от суммы осадков  $\Sigma X$  холодного периода и июня 1992 г. ( $K_{\Sigma X}$ ) к  $\Sigma X$  обеспеченностью 1%:  $K_{1\%} = 1,31$ ,  $h_{1\%} = 403$  мм,  $Q_{1\%} = 2,36$  м<sup>3</sup>/с,  $q_{1\%} = 2410$  л/с·км<sup>2</sup>.

### **Река Недарма-То-Сё**

Своеобразно формируется максимальный сток р. Недарма-То-Се. Река находится между реками Сё-Яха и Морды-Яха, на широкой, до 5 км и больше, правобережной пойме последней. Гидрологический режим р. Недарма-То-Сё определяется режимом этих рек. Длина реки около 4,0 км, на ее водосборе находится большое количество мелких озер, соединенных мелкими ручьями и протоками; река сливается с р. Нямзей-Сё, которая впадает в р. Морды-Яха. В очень многоводные годы пойма междуречья, включая водосбор р. Недарма-То-Сё, затапливается водами р. Морды-Яха на глубину до 4,0 м. Весенний сток, формирующийся местными снегозапасами на ее водосборе, происходит лишь в те многоводные годы, когда существенный подпор русловых вод р. Недарма-То-Сё повышающимися уровнями р. Морды-Яха еще не наступил. В остальные многоводные годы сток осуществляется по руслу и пойме главным образом за счет вод, поступивших вверх по течению р. Недарма-То-Сё из р. Морды-Яха, частично – из р. Сё-Яха. Достигнув пика уровня, воды возвращаются в р. Морды-Яха. Возвратный сток намного больше, чем сток от талых вод: так, максимальные  $Q$  1%-ой обеспеченности различаются в 6,5 раз. Для таких сложных условий прохождения половодья невозможно найти бассейн-аналог со сходным режимом стока. В связи с этим автором предложен и реализован способ расчета ежедневных расходов воды (гидрографа) р. Недарма-То-Сё в период высоких половодий путем предварительного определения значений объемов воды в границах водосбора при изменении на нем от суток к суткам уровня воды. Для этого в качестве исходных используются данные о среднесуточных уровнях воды на водосборе  $\bar{H}_i$  и кривая связи суточных объемов воды  $W_i$  с уровнями  $\bar{H}_i$ :  $W_i = f(\bar{H}_i)$ . От значений  $W_i$  переход к ориентировочным значениям среднесуточных расходов воды  $Q_i$  осуществляется по выражению  $W_i/86400$ , где в знаменателе – число секунд в сутках. Хронологический ход уровня воды принят по аналогии с ходом уровня на ГП р. Сё-Яха – 30 км выше устья в дружное половодье 2008 г. при продолжительности подъема волны половодья 10 суток, продолжительности спада – 9 суток. При менее длительном спаде его средний расход воды и ежедневные расходы будут повышаться. Определение  $W_i$  в границах водосбора р. Недарма-То-Сё правомерно, поскольку затопление последнего водами р. Морды-Яха, как и затопление участков прилегающей общей поймы, происходит с одинаковой интенсивностью: уровень воды повышается на этих территориях в равной степени одновременно, синхронно, поэтому существенного перетока воды через границы водосбора в ту и другую стороны происходить не должно. Также достаточно синхронно снижается уровень воды на спаде половодья, когда воды возвращаются в р. Морды-Яха по тем же элементам рельефа поймы, как в период затопления; и в этом случае переток воды через границы водосбора происходить не должен. Из описанного характера водообмена следует, что предложенный способ вычисления значений  $W_i$ , а также  $Q_i$  является обоснованным.

Максимальные расходы воды р. Недарма-То-Сё, формирующиеся талыми водами с ее водосбора, могут быть рассчитаны по редуцированной формуле, включающей такие параметры как коэффициент дружности половодья  $K_0$  и слой стока половодья  $h$ . Максимальный расход 1%-ной обеспеченности составляет 51,8 м<sup>3</sup>/с. Для расчета  $Q_i$ , исходя из размера  $W_i$ , значения  $\bar{H}_i$  принимались, основываясь на имеющихся вычисленных А.В. Кокоревым (ФГБУ «ГГИ») уровнях воды разной обеспеченности на ГП рек Сё-Яха и Морды-Яха, а также на соседнем с бассейном р. Недарма-То-Сё участке междуречной поймы. При вычислении  $W_i$  и  $\bar{H}_i$

использовались также картографические материалы, данные аэрофотосъемок, космические снимки, полевые обследования изучаемых рек.

В [Новиков, 2009] приводится вывод о том, что на реках Ямала невозможно надежное вычисление среднесуточных расходов воды в период половодья по связям измеренных расходов с уровнями воды из-за неустойчивости связей, вызываемой 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. «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам», вып. 6, часть III. Тем более, что сам автор [Новиков, 2009] 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.

### **Заключение**

Приведенные в статье условия формирования максимального стока весенне-летнего половодья водотоков достаточно разнообразны. Выполненные проработки, преимущественно по короткорядным данным наблюдений, показали, что в большинстве случаев основой расчета главных характеристик половодья,  $h$  и  $Q$ , должны являться способы, изложенные в СП 33-101-2003; должны учитываться также Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик ФГБУ «ГГИ», более подробно и расширенно раскрывающие смысл методических положений свода правил. Выбор способа зависит от продолжительности и однородности ряда наблюдений на гидрологическом посту. По продолжительности – это способы для рядов менее 6 лет и 6 и более лет. В первом случае используются методы отношений, уравнений регрессии и графический, во втором случае – аналитические методы, графический и графоаналитический. Способы при неоднородности рядов заключаются в использовании составных и усеченных кривых обеспеченности. Однако перечисленные способы не всегда дают удовлетворительные результаты: вычисленные кривые обеспеченности  $h$  и  $Q$  могут плохо согласовываться на графиках с точками наблюденных значений характеристик половодья в зоне малых обеспеченностей, располагаясь существенно ниже наибольших значений этих характеристик (обратная ситуация может встречаться в зоне больших обеспеченностей). При этом экстремальные максимумы и минимумы могут формироваться в один и тот же короткий период наблюдений на конкретном гидрологическом посту, усложняя тем самым расположение точек на графиках при обработке данных. Чтобы полнее учесть эту новую ситуацию, нормированные, исходные, кривые обеспеченности следует корректировать в их верхней или/и нижней частях (сглаживать в поле эмпирических точек) или принимать за расчетную эмпирическую кривую обеспеченности. При отсутствии данных наблюдений в расчетном створе применяются региональные методы, получаемые путем территориальных обобщений данных; необходимо также проведение полевых гидрометеорологических изысканий.

На отдельных реках, например, на равнинной части бассейна р.Щучьей и на р.Недарма-То-Се, максимальный сток формируется при особых условиях, вследствие чего нормированные способы его расчета неприменимы, и следует применять нестандартные подходы. Они могут быть следующими.

Впервые по данным наблюдений на р. Щучьей определен максимальный сток, формирующийся в равнинной части ее бассейна между ГП «Лаборовая» и ГП «Щучье». Полученные данные позволили восстановить ряды слоя стока и максимальных расходов воды большого для Ямала водосбора за продолжительный период в 63 года, проиллюстрировать таким образом многолетние колебания этих характеристик на реках южной тундры, сопоставить их с другими реками тундры и использовать при региональном обобщении.

При значительной озерности речного бассейна на размер максимальных расходов воды половодья малой обеспеченности,  $p \leq 5\%$ , дополнительным фактором их формирования являются бессточные озера, та или иная часть которых в отдельные наиболее многоводные дружные весны, переполняясь тальми водами, может сбрасывать свои воды полностью или частично в русло реки и ее притоков. Тем самым, в такие годы в формировании  $Q$  участвует вся или почти вся водосборная площадь реки, в то время как в остальные весны она уменьшена. В инженерной практике, в целях получения гарантии результатов расчета стока от занижения, при отсутствии надежных данных о наличии или отсутствии стока из озер, считающихся бессточными в те или иные по водности весны, следует учитывать формирование стока на всей площади речного бассейна.

На участках свободного меандрирования русел рек, характеризующихся коэффициентом извилистости русла, достигающим трех, возникающие в конкретные годы в разных местах участка заторы льда прорываются со значительно разной интенсивностью, формируя ниже по течению сильно различающиеся по размеру максимальные мгновенные расходы воды даже при близких значениях слоя стока половодья. Это обуславливает неудовлетворительность связей этих элементов между собой, связи же среднесуточных расходов воды со слоем стока могут быть достаточно тесными, и это следует учитывать.

Недлинные ряды наблюдений за максимальным стоком рек, появляющиеся в последние десятилетия, нередко характеризуются большими колебаниями от года к году  $h$  и  $Q$  вследствие климатических аномалий. Из-за этого при построении кривой распределения вероятностей (обеспеченности) этих характеристик аналитическая КО может неудовлетворительно согласовываться на графике с эмпирическими точками. Например, точки могут делиться на две неравные группы, из которых нижняя находится ниже аналитической КО, а верхняя – выше кривой. В подобных случаях целесообразно принимать эмпирическую кривую и определять для нее многолетние параметры стока графоаналитическим способом. При этом дополнительно, при необходимости, выполняется коррекция кривой с использованием отношения  $C_s/C_v$ . Изложенный способ получения расчетной КО исходит из предположения о том, что в условиях неопределенности прогноза климатических изменений, наблюдающихся в настоящее время, природные катаклизмы будут проявляться и в будущем.

Осуществлялось графическое сглаживание АКО  $h$  и  $Q$  в поле эмпирических точек в зоне малых обеспеченностей, если расчетное значение  $h$  (или  $Q$ ) обеспеченностью по АКО 1% незначительно отличалось от нескольких наблюдаемых значений элемента (то же относится и к составным КО); а также, если верхняя часть АКО относительно длинного ряда элемента проходила существенно ниже всех или большинства точек  $h$  (или  $Q$ ), наблюдавшихся в последние десятилетия (пример – ГП «Щучье»).

При построении расчетной АКО  $h$  или  $Q$ , при наличии на графике одной-двух аномально низких точек (особенно при недлинном ряде наблюдений), вероятна значительная отрицательная асимметрия кривой, при которой в зоне малых обеспеченностей значения элемента оказываются пониженными. Для недопущения этого целесообразно принять АКО при уменьшенной асимметрии, при которой кривая наилучшим образом соответствует основной массе точек, расположенных выше низших.

При необходимости перехода от среднего значения  $h$  короткого ряда наблюдений к многолетнему периоду, когда нет действующих ГП-аналогов, нет возможности или нецелесообразно (из-за получения по ним неприемлемых результатов) использовать на опорной метеостанции переходный коэффициент от средних осадков периода наблюдений к норме осадков, возможно использовать отношение коэффициентов поверхностного стока половодья: среднего за период наблюдений короткого ряда к среднему в половодье со слоем, равным норме или близким к ней. Значение коэффициента стока в половодье со слоем стока, близким к норме, может задаваться условно, в нескольких вариантах, на основании общих представлений о его размерах при данных физико-географических характеристиках рассматриваемого водосбора.

В условиях затопления бассейна неизученной малой реки паводковыми водами реки-водоприемника, при невозможности подбора реки-аналога, предложен способ расчета гидрографа

высокого половодья малой реки путем первоначального определения суточных значений объемов воды в ее бассейне при изменении от суток к суткам уровня воды. Переход от суточных объемов воды к среднесуточным расходам воды осуществляется делением объемов на число секунд в сутках.

На полуострове Ямал действует много важнейших хозяйственных объектов. Их нормальное функционирование и безопасность требуют постоянного надежного гидрологического обеспечения. Стационарных пунктов гидрологического наблюдения за стоком воды рек полуострова нет, их необходимо создавать, как и продолжать комплексное изучение процессов формирования речного стока - об этом же говорится в [Баранов, Бобровицкая, 2006].

### **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
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.