

# ЗОНАЛЬНЫЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ АМУДАРЬИ В ГОДЫ С РАЗЛИЧНОЙ ВОДНОСТЬЮ

М.Д. Трубецкова

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия, [trubets@mail.ru](mailto:trubets@mail.ru)

Рассмотрены особенности зонального стока рек в годы с повышенной и пониженной водностью для однородных гидрологических районов бассейна Верхней Амударьи. На основе решения некорректно поставленной обратной задачи для двух лет: многоводного и маловодного — получены значения зонального стока для весеннего и летнего периодов. Показано, что в маловодные годы большую роль приобретает ледниковая составляющая стока.

## ВВЕДЕНИЕ

В горах ярко проявляется наличие высотной поясности климатических и гидрологических процессов. В пределах даже небольшого бассейна горной реки можно наблюдать смену климата от пустынного в нижнем течении до арктического в верховьях. Соответственно, водоносность реки может изменяться от величин, близких к нулю, в низовьях до 100 л/с км<sup>2</sup> в высокогорной зоне наиболее активного формирования стока [3]. Большая часть гидрологических постов в горных районах расположена в створах рек при выходе из гор, и модуль стока, рассчитанный по измерениям на этих постах, характеризует лишь среднюю удельную водоносность бассейна, не отражая высотную поясность в ее распределении. Поэтому для изучения стока горных рек целесообразно использовать другой подход: определять величину стока с высотных зон водосборов (зональный сток) [1, 2, 3]. М. Н. Большаков в [3] ввел понятия зонального и интегрального модуля стока и предложил метод зональных модулей для определения нормы годового стока в неизученных створах горных рек.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ЗОНАЛЬНОМ СТОКЕ

Модуль стока  $Y$  (интегральный модуль стока), вычисленный для площади бассейна в замыкающем створе горной реки, можно представить как сумму величин модулей стока  $y$  (зональных модулей стока), поступающих с нескольких высотных поясов этого бассейна, внутри каждого из которых удельная водоносность не меняется:

$$Y = \sum_{i=1}^n f_i y_i \quad (1)$$

Здесь  $f_i$  — относительная площадь  $i$ -й высотной зоны (площадь высотной зоны в долях от площади бассейна),  $n$  — число высотных зон, выделенных на водосборе.

Если рассматривать горный район с однородными физико-географическими условиями (такими как ориентация горных склонов по

отношению к направлению переноса воздушных масс, доступности водосборов этим воздушным массам, синоптических процессов), то можно принять, что для всех рек внутри этого района величины зонального модуля стока внутри одних и тех же высотных зон приблизительно одинаковы. Тогда для каждого водомерного поста внутри такого района можно записать уравнение (1), и мы получаем систему линейных уравнений:

$$Y_1 = \sum_{i=1}^{n_1} f_{1,i} y_i$$

$$Y_2 = \sum_{i=1}^{n_2} f_{2,i} y_i$$

...

$$Y_m = \sum_{i=1}^{n_m} f_{m,i} y_i$$

или, в матричном виде:

$$Y = Ay \quad . \quad (2)$$

Здесь  $A$  – матрица с элементами  $f_{j,i}$ ;  $j$  – номер водомерного поста;  $m$  – число водомерных постов в данном районе. Решение системы уравнений (2) даст нам величины зональных модулей стока в однородном гидрологическом районе.

Задача (2) относится к классу некорректно поставленных задач математической физики. Это означает, что решение системы (2) может быть не единственным, и даже небольшие изменения исходных данных могут значительно изменить решение. Точное решение найти невозможно, или оно не имеет смысла. Для нахождения приближенного решения некорректно поставленной задачи о зональном стоке М.В. Болговым в [1] было предложено применять метод регуляризации А.Н. Тихонова [6].

В [2] исследован зональный сток горных рек бассейна Амударьи, Заравшана и Кашкадарьи. В исследуемом районе выделено семь гидрологических районов, однородных по признаку характера изменения величин зональных модулей стока с высотой (рис. 1), и для каждого района вычислены значения средних многолетних величин зонального стока.

#### ГОДЫ С РАЗЛИЧНОЙ ВОДНОСТЬЮ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ АМУДАРЬИ

Для понимания механизма формирования стока важно исследовать, как изменяются значения зонального модуля стока разных высотных зон в годы с различной водностью. За период наблюдений самым многоводным годом на всей территории бассейна Верхней Амударьи был 1969 г. Годовые величины расходов

подавляющего числа рек превышали средние многолетние значения в несколько раз. Причиной этого послужило выпадение аномально высокого количества осадков на протяжении всего года (рис. 2).

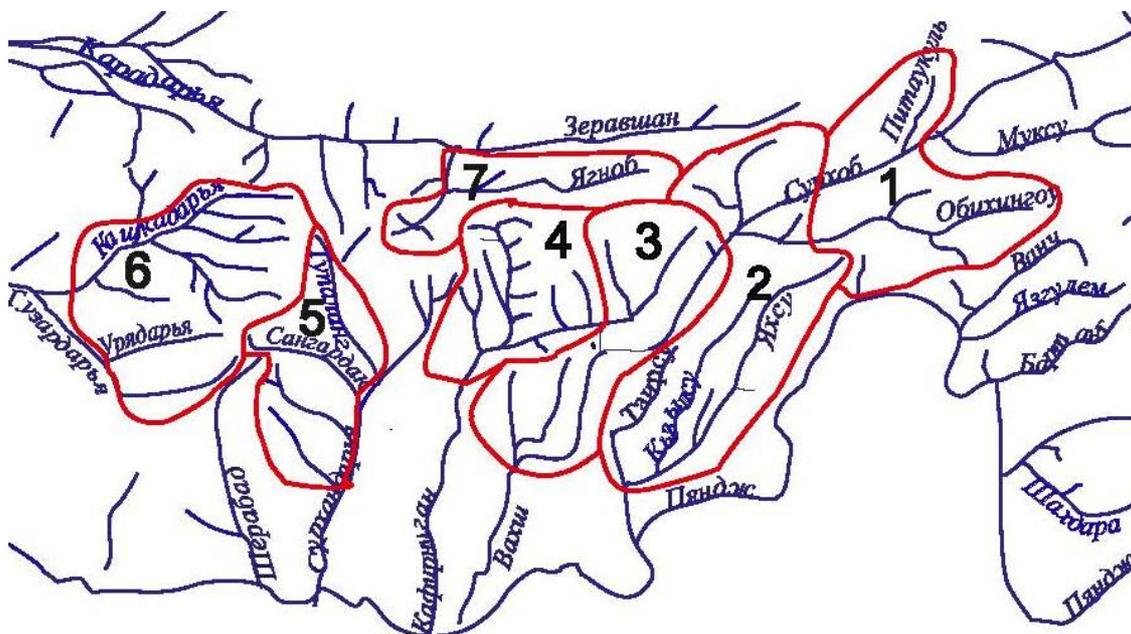


Рис. 1. Однородные гидрологические районы бассейнов Верхней Амударьи, Зеравшана и Кашкадарьи.

За этот же период наблюдений на территории бассейна Верхней Амударьи выявилось несколько относительно маловодных лет. Для анализа был выбран 1974 г., поскольку он лучше всего освещен данными гидрометеорологических наблюдений. Необходимо отметить, что суммы осадков за 1974 г. на метеостанциях ненамного отличаются от средних многолетних величин, и не представляется возможным сделать однозначный вывод о причинах понижения стока на реках в этом году.

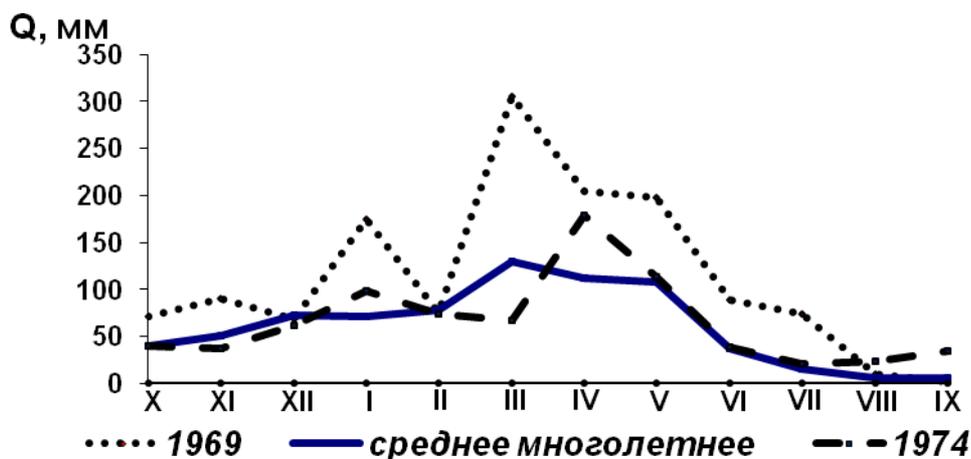


Рис. 2. Месячные суммы осадков  $Q$  на метеостанции Гарм в многоводный (1969) и маловодный (1974) годы и средние за период наблюдений.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОДНОРОДНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

Исследование проводилось для трех однородных районов бассейна Амударьи: районы 1, 2, 4 (рис. 1), лучше всего освещенных данными ежегодных наблюдений за стоком.

Район 1 включает в себя реки северной части Западного Памира: Обихумбоу, Обихингоу с притоками, Питаукуль. Эти реки стекают с протянувшихся в широтном направлении хребтов Дарвазского, Алайского и Петра Первого. Водосборы расположены высоко, их средняя взвешенная высота, в основном, превышает 3000 м. В целом, удельная водоносность рек этого района меньше по сравнению с реками районов 2 и 4 с аналогичными средними высотами водосборов. Район 1 расположен в удалении от основного источника влаги, поступающей с северо-запада и севера. С юго-запада бассейн Обихингоу экранирован Дарвазским хребтом. Вследствие этого, снеготзапасы на высоте 2–2.5 км в этом районе меньше по сравнению с районами 2 и 4. Однако незначительная (менее 3 км) высота экрана в низовьях долины и огромные высоты хребтов Петра Первого, Академии наук и Дарвазского создают благоприятные условия для формирования значительных снеготзапасов на высоте 3.5–4 км: до 1000–1500 мм [4]. По характеру гидрологического режима, в соответствии с классификацией рек В. Л. Шульца (здесь и далее тип питания рек Средней Азии приведен в соответствии с [7]), эти реки относятся к ледниково-снеговому типу питания [5]. На этих реках половодье начинается в апреле – мае и заканчивается октябре – ноябре, наибольшие расходы и гребень волны половодья приходятся на июль – август.

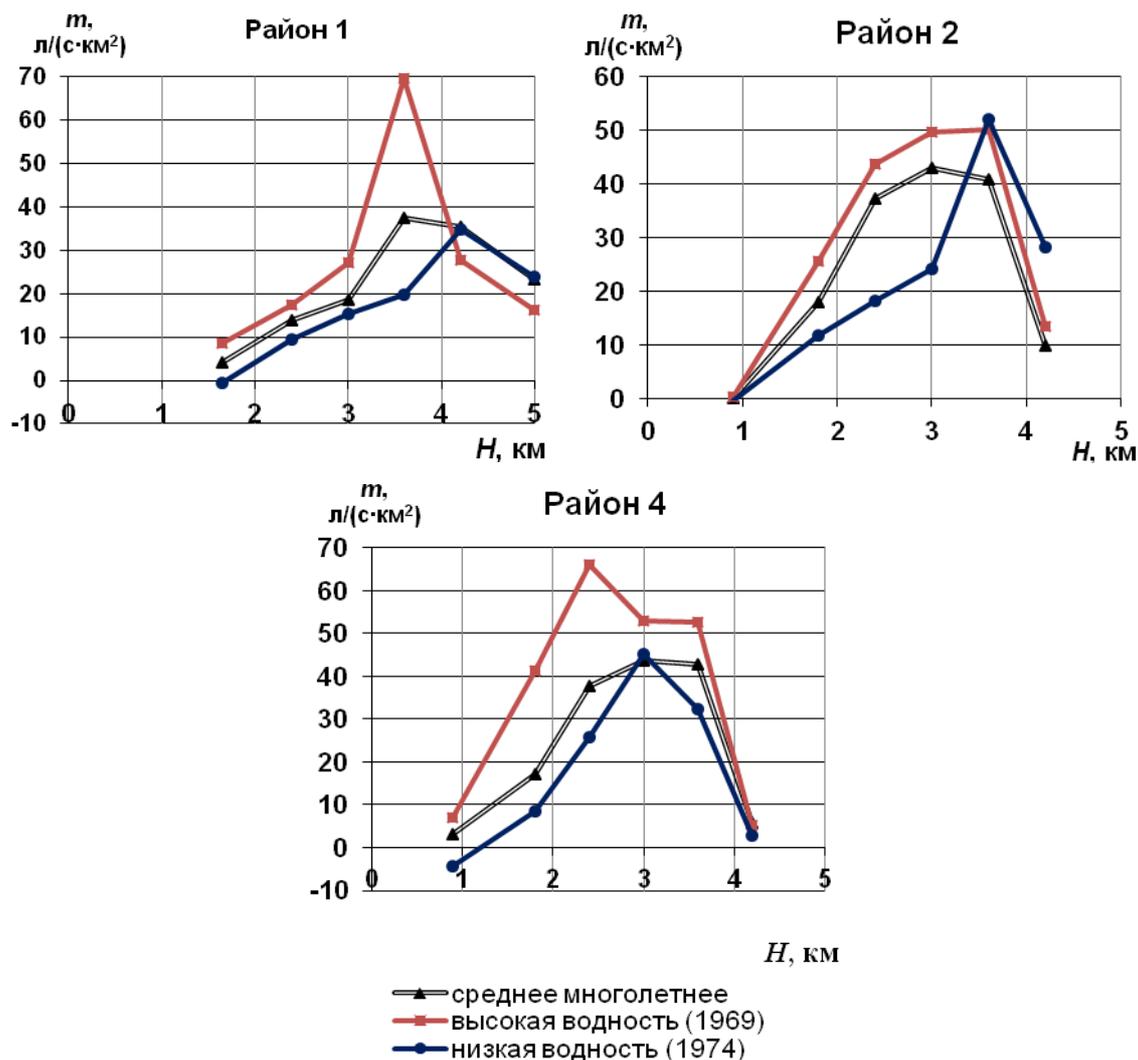
Район 2 включает бассейны р. Яксу и ее притоков, питание этих рек снего-дождевое. Основная роль в формировании половодья рек этого типа питания принадлежит сезонным снегам, вклад ледникового стока незначителен. Гребень половодья и максимальные расходы рек снего-дождевого питания приходятся в бассейне Амударьи на май – июнь [5]. К району 2 также отнесены посты на реках Сарбог, Сурхсу и Сангикар; их водный режим относится к ледниково-снеговому типу. Реки района 2 расположены на периферийных хребтах Памиро-Алая и имеют южную экспозицию водосборов. Бассейны рек различаются по высоте: средние взвешенные высоты меняются от 1.1 до 3.14 км. Удельная водоносность района высока: значения модуля стока превышают 40 л/с км<sup>2</sup> для водосборов со средними высотами около 3 км.

Район 4 включает в себя р. Варзоб с притоками. Реки стекают с южных склонов Гиссарского хребта и имеют разное питание: снеговое, снего-ледниковое и ледниково-снеговое. У рек снегового питания половодье начинается в конце февраля – начале марта и длится до июля – августа. Средние высоты бассейнов этих рек не отличаются большим диапазоном и меняются от 2 до 3.3 км. Водоносность рек максимальна для бассейна Амударьи, она меняется от 24 до 44 л/с км<sup>2</sup>. Это объясняется тем, что хребты Гиссарский, Зарафшанский и Петра Первого являются первым препятствием на пути влажных воздушных масс, проникающих сюда с юга и юго-запада, и количество осадков здесь велико [5].

## СРЕДНЕГОДОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЗОНАЛЬНОГО СТОКА

Для каждого из этих трех гидрологических районов рассчитаны среднегодовые значения зональных модулей стока в годы с различной водностью: для многоводного (1969) и маловодного (1974) годов (рис. 3).

В год с аномально высоким стоком (1969 г.) имела место следующая картина. Зональный сток во всех трех исследованных однородных районах был существенно выше средних многолетних значений в высотном диапазоне 3,3–3,9 км. В более высоких диапазонах, где большую роль играет ледниковая составляющая стока, значения зонального стока несущественно отличались от среднемноголетних, а в районе 1 наблюдалось их понижение. В год с пониженным стоком (1974 г.) в районах 1 и 2 наблюдалось смещение максимальных значений стока в более высокие части водосбора и увеличение их абсолютной величины по сравнению с многоводным годом. Это свидетельствует о более интенсивном таянии ледников в год с пониженной водностью.

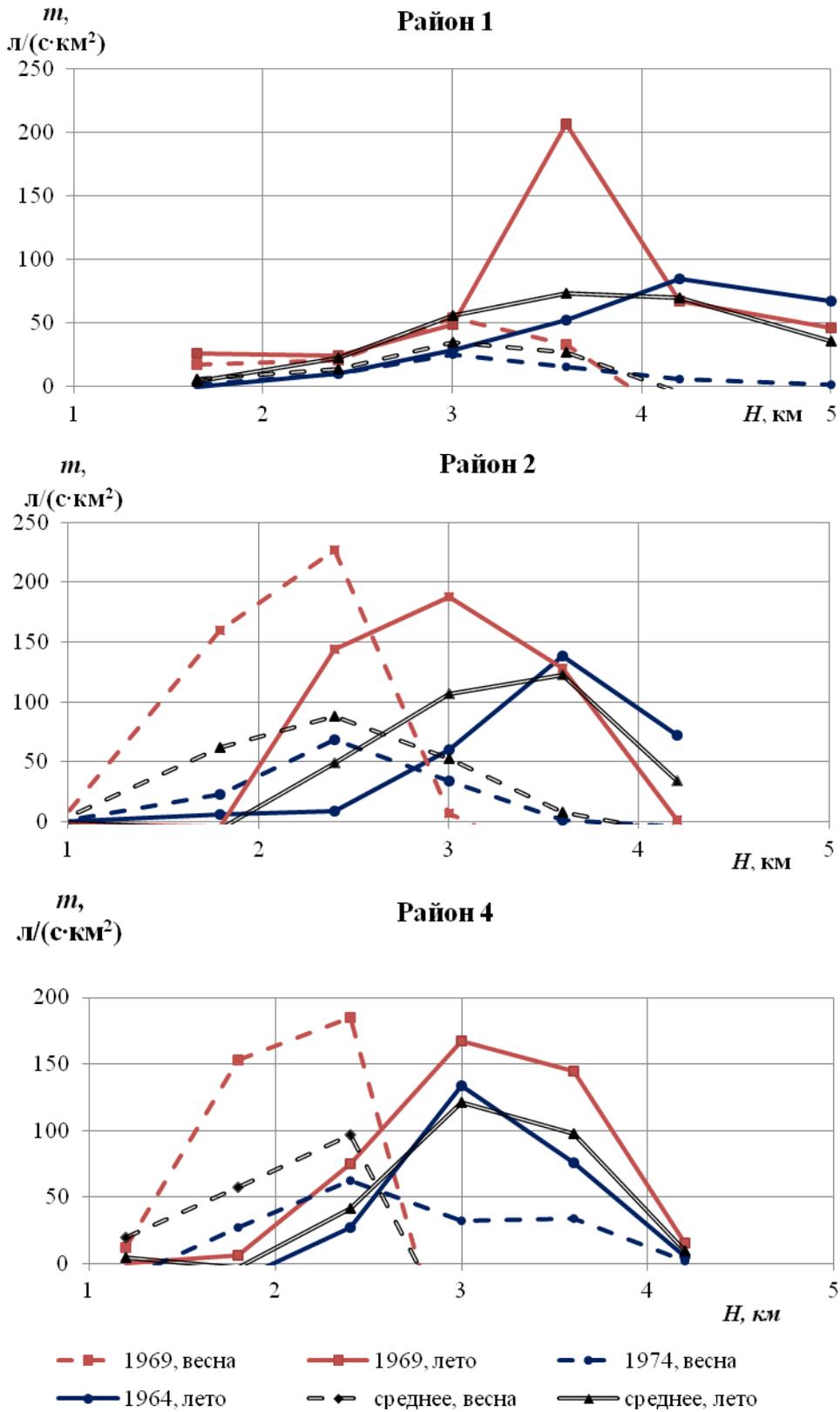


**Рис. 3.** Зональные модули стока  $m$  в однородных гидрологических районах в годы с различной водностью.

### СЕЗОННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЗОНАЛЬНОГО СТОКА

Для более подробного анализа годового распределения зонального стока в годы с различной водностью были проведены расчеты его значений для различных сезонов года: весеннего и летнего. Задача о зональном стоке (2) решалась по значениям модулей стока на гидростаях, осредненным для трех весенних (март – май) и трех летних (июнь – август) месяцев для многоводного и

маловодного лет, а также по среднемноголетним значениям весны и лета. Результаты приведены на рис. 4.



**Рис. 4.** Зональные модули стока  $m$  для весны и лета в однородных гидрологических районах в годы с различной водностью и среднемноголетние значения.

В районе 1 в весенний период максимальный зональный сток наблюдается в диапазоне 2.7–3.3 м. Абсолютные его значения невелики по сравнению с двумя другими районами, что можно объяснить меньшими снегозапасами в этом районе, связанными с его удаленностью от основных влагонесущих потоков. На высоте около 4 км сток затухает в связи с тем, что фронт снеготаяния в весенние месяцы еще не доходит до этой высоты. В год с аномально высокой водностью (1969 г.) весенний сток затухает на меньшей высоте. Это, вероятно, связано с тем, что более мощный снежный покров, характерный для года с повышенным количеством осадков, вначале задерживает талую воду, водоотдача из снега начинается позже, и поэтому фронт снеготаяния продвигается вверх с запаздыванием. В год пониженной водности сток в районе 1 прослеживается до высоты 5 км, при этом значения зональных модулей на высотах менее 4 км понижены по сравнению со среднемноголетними. Вероятно, это объясняется меньшими снегозапасами и, как следствие, более быстрым продвижением вверх фронта снеготаяния. В летний период зона максимальных значений зонального стока смещается вверх, но высота ее различна в годы с разной водностью. В многоводном 1969 г. этот максимум наблюдался на высоте 3.3–3.9 км и был ярко выражен. Именно для этого диапазона высот наблюдалось максимальное превышение величины зонального стока по сравнению со среднемноголетним значением: более чем вдвое. В маловодный год зональный сток на высотах до 4 км был понижен, но в более высоких частях бассейнов он превышал среднемноголетние значения и значения за многоводный год. Максимум стока в 1974 г. сместился вверх, в диапазон высот 3.9–4.2 км, что свидетельствует об увеличении доли ледниковой составляющей в стоке маловодного года. Таким образом, тенденция смещения максимума среднегодового модуля стока вверх в маловодные годы, прослеживаемая на графике средних величин зонального стока (рис. 3), в районе 1 происходит за счет летних месяцев и обеспечивается более интенсивным таянием ледников.

В районах 2 и 4 весеннее снеготаяние начинается раньше, максимальные зональные модули стока имеют более высокие значения по сравнению с районом 1 и приурочены к более низкому высотному диапазону: 2.1–2.7 км. В многоводном году зональный сток весной в средней части водосборов (на высотах от 1.5 до 2.7 км) оказался повышенным более чем вдвое по сравнению с многолетними значениями. Обращает на себя внимание то, что здесь, в отличие от среднемноголетнего распределения, максимальные модули весной превысили летние значения.

В год с пониженным стоком значения весенних зональных модулей в районах 2 и 4 были понижены в низких и средних частях водосборов. В районе 4, как и в районе 1, в высоких частях бассейнов они оказались больше среднемноголетних: фронт снеготаяния в маловодный год весной продвинулся выше. В многоводном году, наоборот, сток в районе 4 весной затухал на меньшей высоте. В летние месяцы в маловодном году зональные модули были также понижены в среднем и низком высотных диапазонах, в высоких же диапазонах они были повышены по сравнению со среднемноголетним значением.

Значения зональных модулей стока в самых верхних диапазонах в летний период отражают интенсивность ледникового стока. Их повышенное значение в маловодные годы демонстрирует регулирующее влияние ледников на речной сток.

## ВЫВОДЫ

В годы с высокой водностью, обусловленной повышенным количеством осадков, зона максимальных значений зонального стока смещается вниз. Сток с верхних высотных диапазонов сокращается, что свидетельствует об уменьшении ледникового стока.

В годы с низкой водностью зона максимальных значений зональных модулей стока смещается вверх. Более активное таяние ледников компенсирует недостаток поступления воды в реки с более низких высотных диапазонов в маловодные годы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болгов М.В. Дождевые паводки на водотоках МНР // Метеорология и гидрология. 1985. № 6. С. 51–57.
2. Болгов М. В., Трубецкова М.Д. О высотной зональности стока рек со значительной долей ледникового питания // Лед и снег. 2011. № 1. С. 45–52.
3. Большаков М.Н. Водные ресурсы рек Советского Тянь-Шаня и методы их расчета. Фрунзе: Илим, 1974. 306 с.
4. Оледенение Памиро-Алая / Под ред. Котлякова В.М., Рототаевой О.В., Лебедевой И.М. и др. М.: Наука, 1993. 256 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14. Средняя Азия. Вып. 3. Бассейн р. Амударьи. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
6. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1974. 222 с.
7. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 691 с.