

Показателем динамического состояния ледников принят известный параметр AAR , характеризующий относительную долю площади аккумуляции F_{ac} в общей площади ледника F_{gl} , т.е. $AAR = F_{ac}/F_{gl}$. Если пространственное распределение AAR симметрично относительно $AAR=0,5$ считается, что группа N_{gl} ледников находится в стационарном состоянии. Преобладание значений $AAR > 0,5$ или $AAR < 0,5$ характеризует состояние активности либо деградации оледенения. В многочисленных гляциологических публикациях показана тесная связь параметра AAR с годовым балансом массы ограниченного числа так называемых опорных ледников в базе данных WGMS (World Glacier Monitoring Service). Целью работы служит анализ многолетнего изменения региональных характеристик оледенения во всем диапазоне значений AAR , а также в пяти интервалах AAR (см. Таблицу 1). Объектом исследования выбрано оледенение в бассейне р. Кызылсу западная - одной из составляющих р. Вахш (Памир). В качестве исходной информации для построения распределений AAR (см. рис. 1) использованы значения, содержащиеся в Каталоге ледников СССР (1966, 1980), рассчитанные по данным Справочника RGI v.6 (2000). Анализ зависимости между годовым и сезонным стоком и AAR для отдельных ледников и в целом для речных бассейнов (табл. 2, рисунки 2-4) выполнен по многолетним ежегодным измерениям стока на гидрологических постах, гляциологическим данным М.Дюргерова http://instaar.colorado.edu/other/occ_papers.html и информации опубликованной в работе Mernild et al, 2013 «Global glacier changes: a revised assessment of committed mass losses and sampling uncertainties». Необходимые для расчетов и прогнозов водных ресурсов рек снего-ледникового типа формирования стока оценки динамики характеристик гидрологического режима оледенения в целом для бассейна р. Кызылсу западная за отдельные временные срезы в 1966-2000 гг. содержатся в таблице 1, которая иллюстрирует вклад ледников с различным динамическим состоянием в общий объем талой ледниковой воды. Изменение среднего взвешенного значения AAR во времени в интервале $0,49 < AAR <= 0,51$ относится к стационарному леднику и является новой базовой характеристикой динамики оледенения в речном бассейне. На основании тесных корреляционных связей на рисунках 3-4 и высоких коэффициентов детерминации уравнений $Q=f(P,T,AAR)$ в таблице 2, впервые обоснована возможность использования параметра AAR в качестве одного из аргументов уравнений для расчетов годового и сезонного стока рек с различной долей снего-ледникового питания. Весьма существенно, что определение параметра AAR гораздо проще, по сравнению с летним балансом массы B_s , а также что для этого вполне пригодны простые и достаточно точные регулярные измерения F_{ac} и F_{gl} со спутников LANDSAT, TERRA и других аппаратов.

Таблица 1 Изменение во времени параметров гидрологического режима оледенения в бассейне р. Кызылсу западная

Индекс	Пределы AAR	Год	AAR w	N_{gl}	F_{gl} км ²	F_{gl} %	Z_{fg} w	$T_s(Z_{fg})$	$Ab(Z_{fg})$	Vol км ³	Vol %
AAR(1)	$0 < AAR <= 0,45$	1966	0,42	58	89,0	16,9	4,496	1,32	1231	0,1096	24,7
AAR(2)	$0,45 < AAR <= 0,49$		0,47	98	149,6	28,4	4,669	0,26	920	0,1376	31,0
AAR(3)	$0,49 < AAR <= 0,51$		0,50	103	115,0	21,8	4,921	-1,29	566	0,0651	14,7
AAR(4)	$0,51 < AAR <= 0,55$		0,53	92	138,0	26,2	4,767	-0,34	769	0,1061	23,9
AAR(5)	$0,55 < AAR <= 0,95$		0,58	44	35,0	6,7	4,871	-0,99	628	0,0220	5,0
Сумма					526,7					0,4443	
AAR(1)	$0 < AAR <= 0,45$	1980	0,42	51	58,4	12,0	4,573	0,85	1085	0,0634	16,4
AAR(2)	$0,45 < AAR <= 0,49$		0,47	93	164,5	33,8	4,747	-0,22	799	0,1314	33,9
AAR(3)	$0,49 < AAR <= 0,51$		0,50	119	125,1	25,7	4,894	-1,13	599	0,0749	19,3
AAR(4)	$0,51 < AAR <= 0,55$		0,53	85	105,2	21,6	4,707	0,02	859	0,0904	23,3
AAR(5)	$0,55 < AAR <= 0,95$		0,56	55	33,1	6,8	4,709	0,01	856	0,0283	7,3
Сумма					486,3					0,3875	
AAR(1)	$0 < AAR <= 0,45$	2000	0,33	306	464,0	81,5	4,785	-0,46	748	0,3470	77,4
AAR(2)	$0,45 < AAR <= 0,49$		0,47	47	47,0	8,3	4,644	0,41	967	0,0455	10,1
AAR(3)	$0,49 < AAR <= 0,51$		0,50	13	9,6	1,7	4,558	0,94	1119	0,0107	2,4
AAR(4)	$0,51 < AAR <= 0,55$		0,53	34	12,3	2,2	4,588	0,76	1064	0,0131	2,9
AAR(5)	$0,55 < AAR <= 0,95$		0,64	99	36,5	6,4	4,702	0,06	872	0,0318	7,1
Сумма					569,4					0,4482	

Условные обозначения: AAR – относительный коэффициент площади аккумуляции ледника, AAR w – среднее взвешенное значение в интервале, N_{gl} – число ледников, F_{gl} – площадь ледников, F_{gl} % - доля площади в %, Z_{fg} w – средняя взвешенная высота фирновой границы на ледниках по методу Куровского, $T_s(Z_{fg})$ – средняя летняя температура воздуха на высоте Z_{fg} в °C, $Ab(Z_{fg})$ – годовая абляция на высоте Z_{fg} в мм по формуле Кренке $Ab=1,33(T_s+9,66)^{2,85}$, Vol км³ – годовой объем абляции, Vol = $Ab(Z_{fg}) \cdot F_{gl}$, Vol % - доля Vol в %.

Название фонда	Номер проекта	Название
Бюджет РАН	0148-2018-0008	Оценка состояния, структуры, криогенных ресурсов и тенденций развития ледниковых систем горных районов России на основе применения современных природных и дистанционных методов исследований
Бюджет РАН	0148-2019-0004	Оледенение и сопутствующие природные процессы при изменениях климата

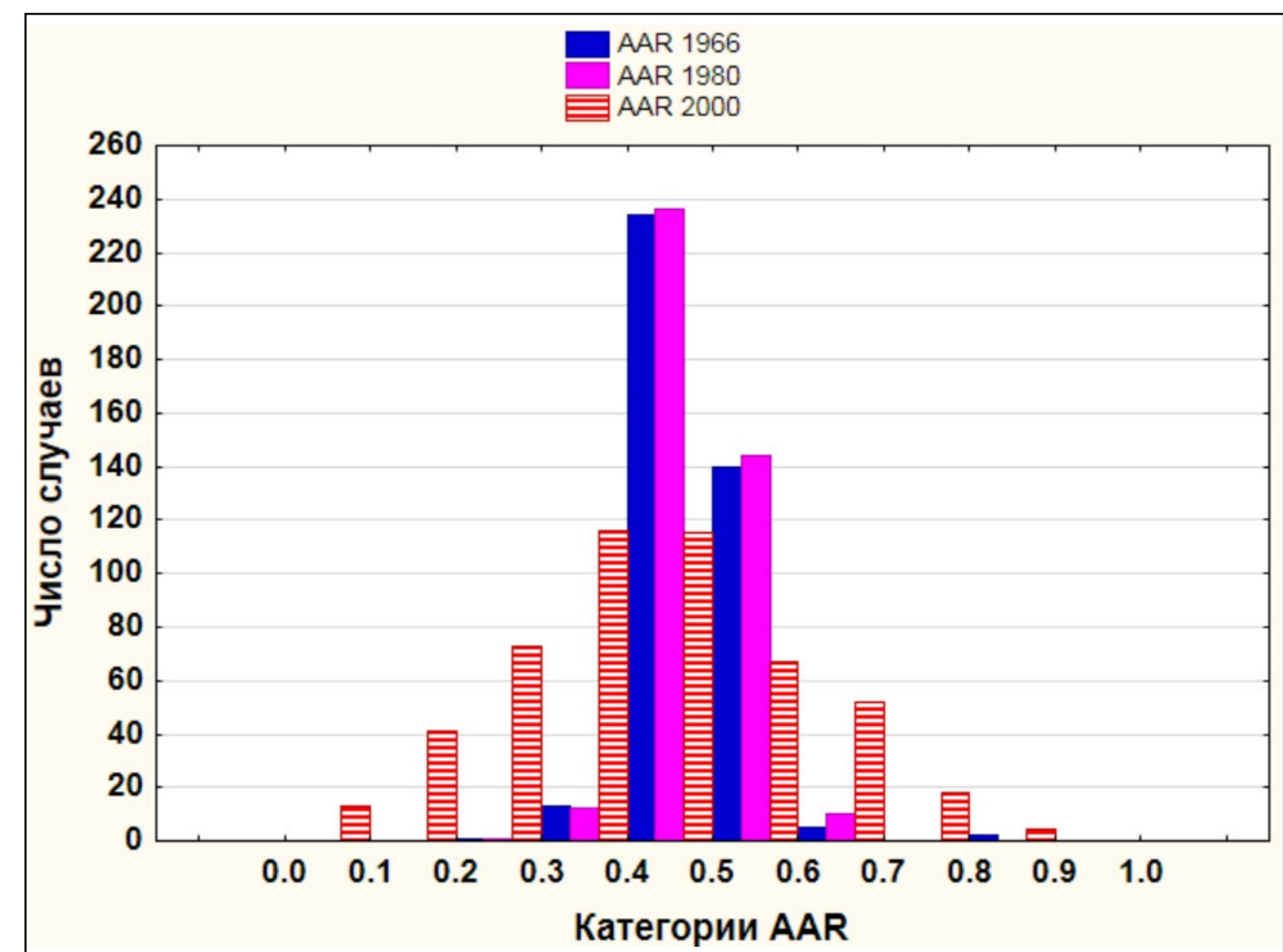


Рис. 1 Изменение во времени распределения коэффициента AAR в бассейне р. Кызылсу западная. Для 1966 и 1980 годов построено по данным Каталога ледников СССР, для 2000 года использованы данные Каталога RGI v. 6.

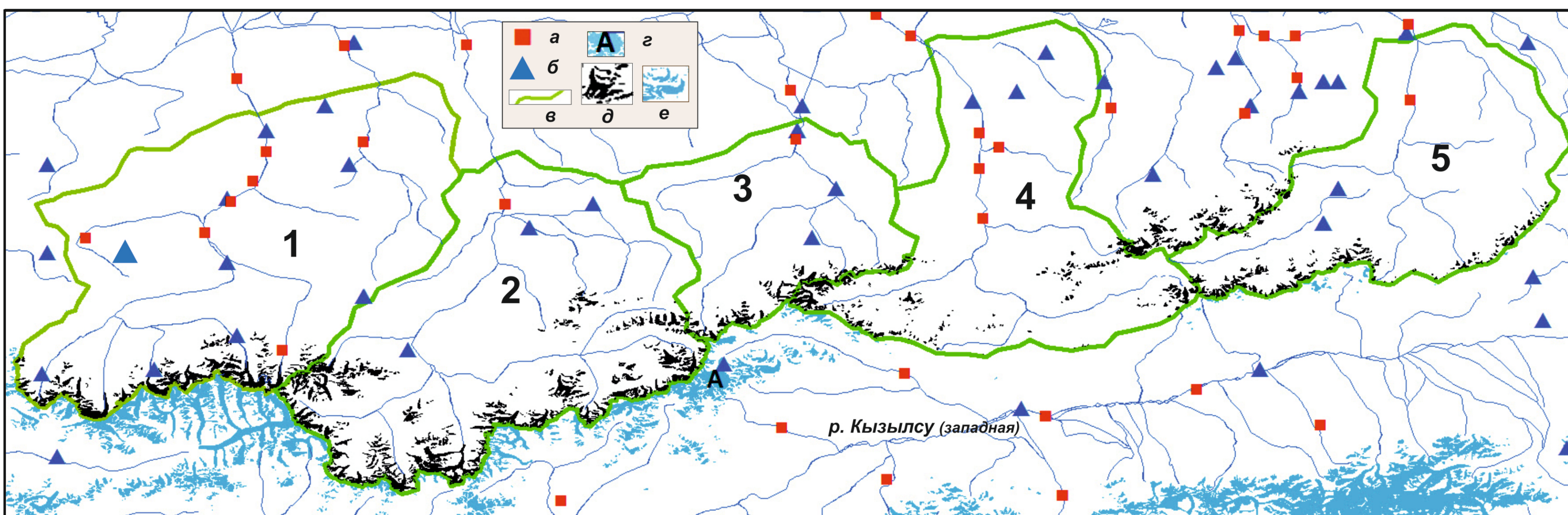


Рис. 2 Бассейны правых притоков р. Сырдарья на северных склонах Алайского хребта. Условные обозначения. № 1-5 - бассейны рек: 1 - Исфара (1560/8,3), 2 - Сох (2480/10,2), 3 - Шахимардан (1180/4,0), 4 - Исфайрам (2200/4,6), 5 - Акбура (2200/5,0). В скобках после названия бассейна дана его площадь в км² и относительная площадь оледенения в %; а - гидрологические посты, б - метеостанции, в - граница речного бассейна, г - ледник Абрамова, д - ледники на северных склонах Алайского хребта, е - ледники в бассейне р. Кызылсу западная и на сопредельной территории. Источник данных по расположению ледников Каталог RGI в. 6

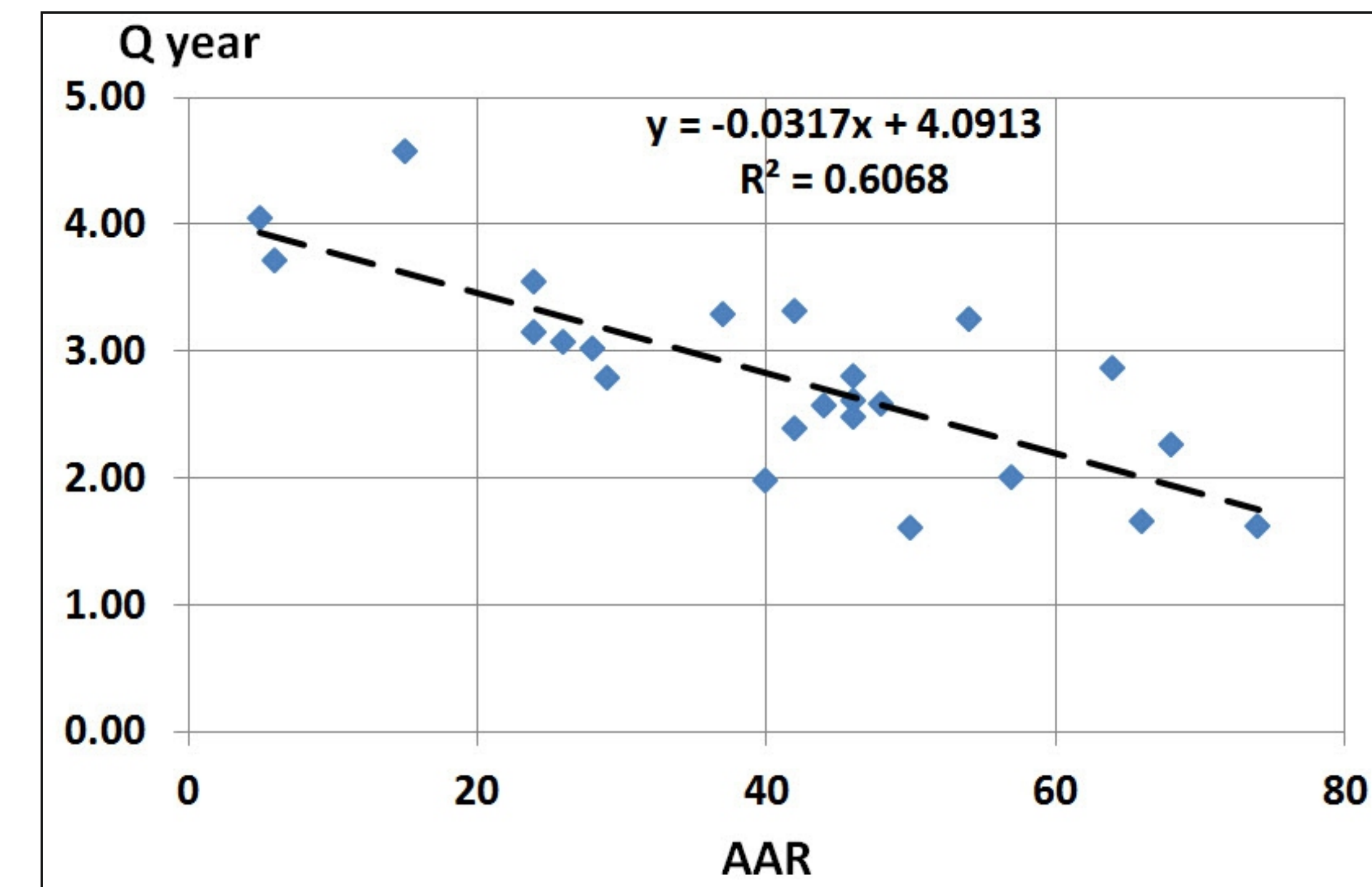


Рис. 3 Зависимость среднего годового стока в бассейне ледника Абрамова от коэффициента AAR на этом леднике.

Таблица 2 Коэффициенты детерминации уравнений для расчета годового и вегетационного стока в бассейнах ряда левых притоков р. Сырдарья как функций климатических характеристик (P, T) и AAR либо B_s за 1968-95 гг.

Бассейн	гидропост	F_{bas} , км ²	F_{gl} , %	Q_{year}				Q_{veg}			
				$Q=f(P, T, AAR)$		$Q=f(P, T, B_s)$		$Q=f(P, T, AAR)$		$Q=f(P, T, B_s)$	
				R^2	R^2 adj	R^2	R^2 adj	R^2	R^2 adj	R^2	R^2 adj
Исфайрам	Учкоргон	2200	3,1	0,892	0,837	0,901	0,808	0,880	0,821	0,900	0,808
Исфайрам	Лянгар	697	6,4	0,900	0,850	0,918	0,843	0,883	0,825	0,909	0,825
Шахимардан	Джидалик	1180	3,6	0,874	0,773	0,872	0,769	0,850	0,775	0,850	0,762
Акбура	Папан	2220	2,9	0,853	0,802	0,911	0,859	0,853	0,802	0,911	0,859

Условные обозначения: P, T – соответственно сумма осадков и средняя температура воздуха за характерные интервалы времени, измеренные на метеостанциях расположенных в районе исследования на северном склоне Алайского хребта (см. рисунок), AAR – относительная площадь области аккумуляции ледника, B_s – летний баланс массы по измерениям на леднике Абрамова, Q_{year} – средний годовой сток, Q_{veg} – средний сток за вегетационный период (апрель-сентябрь), F_{bas} – площадь бассейна до гидропоста, F_{gl} – относительная площадь оледенения по данным РГИБ, R^2 – коэффициент детерминации, R^2 adj – скорректированный коэффициент детерминации.

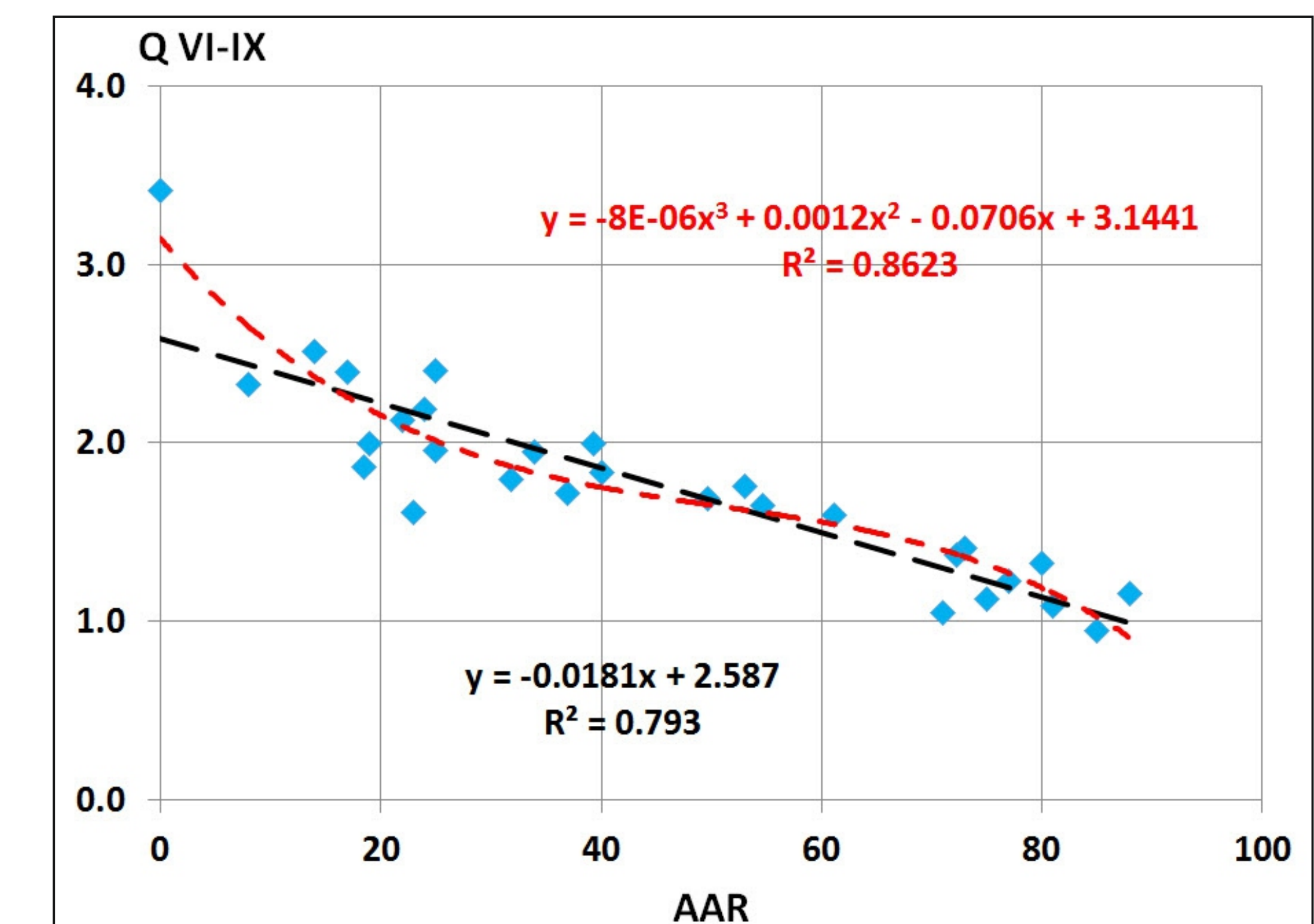


Рис. 4 Зависимость среднего стока за июнь-сентябрь в бассейне ледника Фернатфернер от коэффициента AAR на этом леднике.