



XVI Всероссийская открытая конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
12-16 ноября 2018 г. ИКИ РАН, г. Москва

Первая задача исследования заключается в оценке изменения площади, числа и параметров распределения гипсометрических характеристик ледников (асимметрия, эксцесс, среднее, среднеквадратичное отклонение, минимум, максимум, медиана) между их совокупностями в 1946-1975 и 1976-2005 гг. Распределение площади ледников Fgl в бассейнах рек Северного Кавказа и р. Катунь по данным [3] использовано также для оценки пространственной репрезентативности Fgl ледников Джанкуат и Малый Актру.

Вторая практически важная задача работы направлена на выявление возможностей использования локальных значений абляции/летнего баланса массы как дополнительного аргумента при моделировании и расчетах речного стока за июнь-сентябрь в масштабе речных бассейнов. Метод решения этой задачи - регрессионный анализ и определение детерминированных вкладов независимых переменных в описание дисперсии функции. **Области анализа** бассейны рек: Катунь (Алтай), Северного Кавказа, Сырдарьи (сев. склон Алайского хребта).

Исходные данные. Информация по ледникам, климатическим характеристикам и речному стоку в публикациях [1-8] (см. Литература)

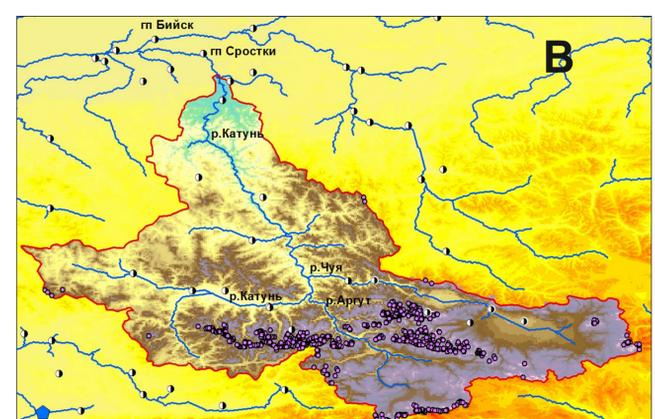
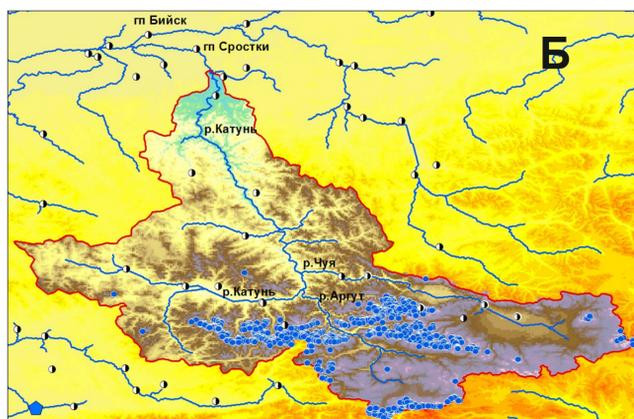
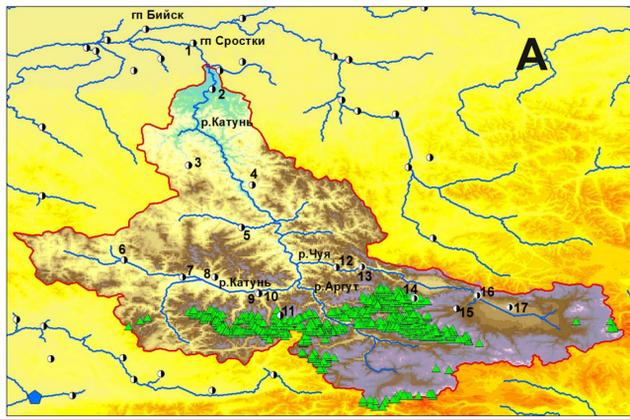


Таблица 1. Результаты мониторинга ледников в бассейнах рек Северного Кавказа

Index	Каталоги ледников		Zmax	Zmean	Zmin	Zmax	Zmean	Zmin	Zmed
	[1]	[3]	Z взвешенные по площади [2]			Z взвешенные по площади [3]			
Fgl	593,2	488,4	4382	3572	2814	4396	3630	2864	
Ngl	457	371	Индексы высоты Z и параметры распределения Z [2]			Индексы высоты Z и параметры распределения Z [3]			
Param	Fgl [2]	Fgl [3]	Zmax	Zmean	Zmin	Zmax	Zmean	Zmin	
Asym	6,33	5,46	1,05	0,73	0,35	0,94	0,17	-0,12	0,05
Ex	53,25	39,02	1,57	1,06	1,12	2,21	0,42	0,28	0,25
RMSD	3,04	2,85	495	398	458	460	345	399	349
Mean	1,30	1,32	3882	3547	3213	3855	3507	3159	3496
Min	0,10	0,03	2760	2660	2000	2674	2554	1983	2477
Max	36,20	29,96	5660	4990	4800	5614	4568	4413	4555
Med	0,40	0,40	3800	3525	3210	3813	3517	3205	3507

Таблица 2. Результаты мониторинга ледников в бассейне р. Катунь (Алтай)

Index	Каталоги ледников		Zmax	Zmean	Zmin	Zmax	Zmean	Zmin	Zmed
	[2]	[3/5]	Z взвешенные по площади [2]			Z взвешенные по площади [3/5]			
Fgl	780	525/505	3599	3103	2608	3625	3159	2694	
Ngl	808-815	964/605	Индексы высоты Z и параметры распределения Z [2]			Индексы высоты Z и параметры распределения Z [3/5]			
Param	Fgl [2]	Fgl [3/5]	Zmax	Zmean	Zmin	Zmax	Zmean	Zmin	
Asym	7,1	6,6/5,8	0,26	-0,41	-0,22	0,00/-0,07	-0,46/-0,19	0,19/0,05	0,27/-0,05
Ex	67,2	54,3/43,3	0,91	0	-0,01	0,80/0,04	1,14/0,10	0,64/-0,21	0,93/-0,05
RMSD	2,09	1,43/1,74	317	228	243	329/349	253/287	253/302	265/300
Mean	0,96	0,54/0,84	3320	3039	2760	3253/3282	3062/3065	2872/2849	3052/3056
Min	0,10	0,02/0,05	2350	2235	1920	1573/2170	1571/2156	1569/1945	1571/2128
Max	28,2	16,7/18,1	4510	3740	3480	4403/4470	3854/4152	3792/3824	3890/4113
Med	0,40	0,13/0,34	3320	3070	2760	3251/3299	3081/3085	2880/2841	3067/3056

Рисунки. А – распределение ледников и гидропостов в бассейне Катунь, данные [2]; Б – то же, данные [4]; В – [5]. Цифры на рисунке А это условные номера гидропостов. На рис. Г: 1 – распределение Zmin по данным Каталога ледников СССР [2]; 2 – по данным Каталога RGI [4]; P % - доля Zmin

Обозначения в таблицах 1-2. Param – параметры распределений. Расшифровка характеристик Zmax, Zmean, Zmin, Zmed дана в тексте; Fgl – площадь ледников, км²; Ngl – число ледников; Asym – асимметрия распределения; Ex – эксцесс распределения; RMSD – среднеквадратичное отклонение; Параметры распределений: Mean – среднее, Min – минимум, Max – максимум, Med – медиана. Все высоты Z в м над уровнем моря. В квадратных скобках даны ссылки на источники исходных данных.

Обозначения в таблице 3. Fbas – площадь бассейна до гидропоста, Fgl [1-2] – площадь ледников в Каталоге ледников СССР, Fgl [3-4] – площадь ледников в каталогах [3-4] все площади в км² до замыкающего гидропоста, кроме общей площади оледенения в бассейне (отмечено символом *), R(Qvi-ix) – сводный коэффициент корреляции уравнения регрессии Qvi-ix=f(P,T) для 3-х либо 4-х R(Qvi-ix), аргументов, P, T – сезонные суммы и средние значения осадков P и температуры воздуха T за характерные периоды; бР – детерминированный вклад P в описание дисперсии стока за июнь-сентябрь. Qvi-ix, бT – то же для T; При использовании 4-х аргументов к P и T добавлена сезонная абляция Ab либо летний баланс массы Bs на ледниках Малый Актру (бассейн р. Катунь) или Джанкуат (бассейн р. Терек); бAb/Bs – детерминированный вклад добавленного аргумента в описание дисперсии стока Qvi-ix, АКТ – сумма стока рек Аккем, Кучерла и Катунь (гидропост Тюбур).

Таблица 3. Вклады аргументов P, T (данные [8]) и Ab/Bs (данные [7]) на ледниках Актру и Джанкуат в уравнения регрессии для расчета стока за июнь-сентябрь

Река	Гидропост	Fbas	Fgl [1-2]	Fgl [3-4]	R(Qvi-ix)	бP	бT	R(Qvi-ix)	бAb/Bs
Бассейн р. Катунь (Алтай)									
Катунь	Сростки	58400	738,9	524,7	0,82	1,00	0,00	0,82	0,18
Катунь	АКТ	14199	170,2	118,6	0,75	1,00	0,00	0,76	0,25
Чуя	Белый Бом	10900	232,2	170,1	0,65	1,00	0,00	0,67	0,04
Актру	Актру	36,0	31,0	28,9	0,58	0,02	0,98	0,74	0,57
Бассейны рек на Северном Кавказе									
Терек	Владикавказ	1 490	66,6	46,0	0,72	1,00	0,00	0,72	0,27
Терек	Котляревская	8 920	685,6*	637,6	0,72	1,00	0,00	0,72	0,15
Малка	Прохладная	2 860	189,5*	174,3	0,68	1,00	0,00	0,69	0,03
Баксан	Заюково	2 100	154,2	140,2	0,71	0,85	0,15	0,73	0,00
Чегем	Нижний Чегем	739	59,3	49,5	0,84	0,51	0,49	0,87	0,21
Черек	Советский	1 350	198,1	152,2	0,72	0,15	0,85	0,74	0,31
Теберда	Теберда	504	57,6	48,2	0,70	0,27	0,73	0,70	0,00
Малка	Каменно. мост.	1 540	57,3	52,3	0,73	1,00	0,00	0,74	0,05

Таблица 4. Распределение ледников с высотными параметрами Z в бассейне р. Катунь

Параметр	Индекс	Каталог [2] 1960-67 г.	Каталог [4] 2011-13 г.	Каталог [5] 2000-02 г.
		Пределы высоты над уровнем моря, км		
Zmin	Ngl	59	52	34
	Доля Ngl, %	7.7	6.8	3.5
Zmean/Zmed	Ngl	666	819	489
	Доля Ngl, %	86.8	85.0	92.2
Zmax	Ngl	714	886	549
	Доля Ngl, %	93.1	91.1	90.7

Обозначения. Ngl – число ледников; Zmin, Zmean/Zmed, Zmax – высоты ледников: минимальная, средняя/медианная, максимальная. В квадратных скобках ссылка на источник данных

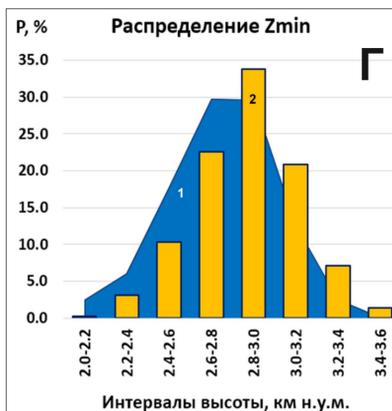
Таблица 5. Сток Q за VI-IX/IV-IX как функция осадков, температуры воздуха и баланса массы ледников

Река/Fbas/δFgl	Q=f(P, T, Bs) в описании дисперсии стока			Q=f(Ba)
	P1/P2	T1/T2	Σ(P,T)/Σ(P,T) Bs	
Исфайрам/2200/4,6	0,41/0,43	0,59/0,57	1,00/0,99	0,00/0,01
R	0,72/0,74	0,53/0,56		0,29
Исфайрам/697/14,6	0,44/0,45	0,56/0,55	0,99/0,99	0,01/0,01
R	0,76/0,77	0,58/0,60		0,07
Исфара/1560/8,3	0,64/0,13	0,36/0,87	0,56/0,58	0,44/0,42
R	0,78/0,78	0,73/0,73		-0,33
Сох/2480/10,2	0,21/0,24	0,79/0,76	0,68/0,61	0,32/0,39
R	0,91/0,91	0,78/0,79		-0,14
Шахимардан/1180/4,0	0,34/0,35	0,66/0,65	0,89/0,94	0,11/0,06
R	0,70/0,69	0,69/0,68		0,16
Акбура/2200/5,0	0,35/0,41	0,65*/0,59*	0,65*/0,59*	0,65*/0,59*
R	0,82/0,83	0,82/0,83		0,42
Баксан/2100/6,7	0,43	0,57	0,61	0,39
R	0,61	0,65		0,25
Баксан/210/27,1	0,46	0,54	0,30	0,70
R	0,58	0,73		-0,22

Обозначения. Fbas – площадь бассейна, км²; δFgl – относительная площадь оледенения, %; P – осадки, T – температура воздуха за характерные периоды; Bs – летний и годовой баланс массы на условно «репрезентативных» ледниках; R – коэффициент корреляции. * - означает одинаковый состав уравнений.



Обозначения. ▲ - гидрологические посты; ▲ - метеостанции; ▲ - ледник Абрамова
р. Исфара Fbas=1560 км², δFgl=Fgl/Fbas=8,3%; р. Сох Fbas=2480 км², δFgl=10,2%;
р. Шахимардан Fbas=1180 км², δFgl=4,0%; р. Исфайрам-1 Fbas=2200 км², δFgl=4,6%;
Исфайрам-2 Fbas=697 км², δFgl=14,6%; р. Акбура Fbas=2200 км², δFgl=5,0%



Литература
1. Каталог ледников СССР: Т. 8. Ч. 3, 5-7, 11. Л.: Гидрометеоиздат, 1967-1977.
2. Каталог ледников СССР: Т. 15. Вып. 1. Ч. 4-7. Л.: Гидрометеоиздат, 1978.
3. Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 5.0. July 2015. <http://glims.org/RGI/index.html>
4. RGI Consortium. 2017. A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0. doi: <https://doi.org/10.7265/N5-RGI-60>.
5. Naimura T., Sakai A., Taniguchi K., Nagai H., Lamsal D., Tsutaki S., Kozawa A., Hoshina Y., Takenaka S., Omiya S., Tsunematsu K., Tshering P., Fujita K. The GAMDAM glacier inventory: a quality-controlled inventory of Asian glaciers // The Cryosphere. 2015. № 9. P. 849-864. doi: 10.5194/tc-9-849-2015.
6. Коновалов В.Г., Рудаков В.А. Гидрологический режим ледников в бассейнах рек Северного Кавказа и Алтая // Лед и Снег. 2018. № 1. P. 21-40.
doi: 10.15356/2076-6734-2018-1-21-40.
7. Global Glacier Change Bulletin. № 1 / Eds.: Zemp M., Gartner-Roer E., Lussbaumer S.U., Hüsler F., Machguth H., Migg N., Paul F., and Hoelzle. World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 2015. 230 p. doi: 10.5904/wgmsfoc-2015-11.
8. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швецов Н.В. Описание массива данных месячных сумм осадков, температуры воздуха и упругости водяного пара в воздухе на метеостанциях России. <http://meteo.ru/data>.

Заключение. По данным в Каталогах [1-6] впервые получен обширный набор статистических параметров для совокупностей ледников на Северном Кавказе и Алтае и их изменение за 50-летний интервал времени. В этих регионах установлено уменьшение всех параметров в 2011-2013 относительно их значений в 1960-1967 гг, что отражается на условиях формирования ледникового стока. На ледниках в бассейне р. Катунь к 2011-2013 гг. произошло увеличение числа случаев повышенных значений параметра Zmin (рис. Г), начиная с интервала 2.8-3.0 км. Надежными, отвечающими тенденции сокращения площади оледенения на Алтае и Северном Кавказе, и пригодными для гидрологических расчетов служат средние взвешенные высоты Zmax, Zmin, Zmean совокупностей ледников. Измерения годовой абляции/летнего баланса массы на ледниках Малый Актру и Джанкуат можно считать регионально репрезентативными только для части водосборов (см. таблицу 5) в бассейнах рек Северного Кавказа и р. Катунь (Алтай).