

Двадцать первая международная конференция "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА" 13 - 17 ноября 2023 г. Институт космических исследований РАН, г. Москва

Динамика оледенения в речных бассейнах

Коновалов В.Г. (Институт географии РАН, г. Москва)

vladgeo@gmail.com

**Введение.** Современная информация о временной изменчивости площади оледенения  $F_{gl}$  и характерных высотных показателей ледников  $Z_{end}$ ,  $Z_{beg}$ ,  $Z_{mean}$ ,  $F_{glo}$  – соответственно высоты конца, начала, среднего значения  $Z_{mean} = (Z_{end} + Z_{beg})/2$ , нижнего уровня открытой части ледника на региональном уровне является весьма ограниченной. Например, для оледенения в горно-ледниковых бассейнах рек Центральной Европы, Северной Евразии и Памира такие данные имеются только за два-три временных среза [1-10]. В этой ситуации реконструкцию ежегодных изменений высотно-площадных параметров совокупностей ледников и заключение о состоянии оледенения приходится делать методом линейной интерполяции между двумя-тремя точками прямых определений комплекса характеристик ледников доступного на протяжении трех-четырех десятков лет. Полученные по линейным уравнениям тренда  $F_{gl} = F_{gl}(t)$ ,  $Z_{end} = Z_{end}(t)$ ,  $Z_{abl} = Z_{abl}(t)$ ,  $Z_{beg} = Z_{beg}(t)$ ,  $Z_{mean} = Z_{mean}(t)$ ,  $Z_{ac} = Z_{ac}(t)$  ежегодные значения  $F_{gl}$ ,  $Z_{end}$ ,  $Z_{abl}$ ,  $Z_{beg}$ ,  $Z_{mean}$ ,  $Z_{ac}$  для оледенения в речных бассейнах Альп, Кавказа, Алтая, Памира в течение примерно 40 лет. служат ключевой входной информацией для регионального расчета таких характеристик, зависящих от высоты  $Z$ , как:  $A_b$  – удельная абляция/таяние льда, фирна и снега; осадки, температура и упругость водяного пара в воздухе. Здесь  $t$  - символ времени,  $Z_{abl}$  и  $Z_{ac}$  – соответственно высоты областей абляции и аккумуляции.

**Методика.** Помимо ежегодных значений  $F_{gl}$ ,  $Z_{end}$ ,  $Z_{abl}$ ,  $Z_{beg}$ ,  $Z_{mean}$ ,  $Z_{ac}$  значительную научную и практическую ценность представляет информация о динамике каталожных значений  $N_{gl}$  и  $F_{gl}$  в заданных одинаковых интервалах площади оледенения. Параметры  $N_{gl}$  и  $F_{gl}$  в начале  $Beg(t)$  и конце  $End(t)$  периода наблюдений были распределены по интервалам  $F_{gl}$ , указанных в табл. 1. Для расчетов использованы данные из работ [4-6,8,10]. Пример многолетних изменений числа  $N_{gl}$  и площади оледенения  $F_{gl}$  в ряде горно-ледниковых речных бассейнов приведен в табл.1.

Таблица 1. Изменения  $N_{gl}$  и  $F_{gl}$  в интервалах времени и площади

	Речные бассейны					Interval $F_{gl}$ км <sup>2</sup>
	Рона	Инн	Кубань	Катунь	Зап.Кызылсу	
	N <sub>gl</sub>					
Beg(t)	649	663	321	767	541	
End(t)	875	1069	551	605	444	
Δ N <sub>gl</sub>	226	406	230	-162	-97	
	F <sub>gl</sub> км <sup>2</sup>					
Beg(t)	754,17	495,24	214,6	737,7	641,28	
End(t)	715,28	404,23	199,22	505,48	555,12	
Δ F <sub>gl</sub>	-38,89	-91,01	-15,38	-232,22	-86,16	
	Δ -увеличение N <sub>gl</sub> , F <sub>gl</sub> ; Δ -сокращение N <sub>gl</sub> , F <sub>gl</sub>					0
	-23,06	-0,94	24,29	-116,83	-33,91	0,50
	27,53	-49,65	-19,42	-52,42	-16,96	1,00
	11,82	-13,08	-6,54	-20,16	-2,98	1,50
	6,67	-4,15	-2,19	-17,37	-14,48	2,00
	13,68	-3,74	-5,26	-2,98	-6,62	2,50
	-1,77	-2,26	-1,88	-8,31	5,60	3,00

	-0,26	-1,13	-1,63	-3,64	-5,67	3,50
	1,51	-3,36	0,06	-0,63	3,89	4,00
	-3,27	-1,87	-0,66	-2,30	-3,37	4,50
	1,03	-2,98	0,72	-3,26	-2,25	5,00
	-2,58	-1,49	-0,66	0,71	-5,79	5,50
	0,21	0,00	0,00	1,54	-1,18	6,00
	1,38	0,37	0,00	-2,17	-1,06	6,50
	-0,13	0,37	-0,97	1,67	0,06	7,00
	-1,64	0,00	-0,66	-0,25	1,36	7,50
	-0,47	0,00	0,00	-0,96	-2,30	8,00
	2,32	-0,74	0,00	-0,96	1,24	8,50
	-3,27	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00
	-0,82	-0,74	0,00	0,00	0,00	9,50
	3,01	-2,23	0,00	-0,13	-1,18	10,00
	1,16	0,00	0,00	-1,92	-1,18	10,50
	1,16	0,00	0,36	0,00	-1,18	11,00
	-0,82	-1,49	0,00	0,83	0,00	11,50
	-0,82	0,00	0,00	0,00	-1,18	12,00
	0,00	-0,74	0,00	0,00	-3,54	12,50
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00
	0,34	0,00	0,00	-0,96	0,00	13,50
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00
	-3,27	0,00	0,00	0,83	1,24	14,50
	8,69	-0,38	0,36	-2,30	2,71	15,00

**Обсуждение.** 1. По поводу увеличения либо уменьшения  $Ngl$  на фоне сокращения  $Fgl$  в интервале времени  $\Delta t = End(t) - Beg(t)$  нет однозначного объяснения. С одной стороны это может быть обусловлено реальной динамикой оледенения, с другой стороны методикой дешифрирования контуров ледников и разрешающей способностью изображений ледников. Так, идентификация ледников с минимальным размером  $0,01 \text{ км}^2$  вместо  $0,05 \text{ км}^2$  [12] изменило число ледников в Каталоге GAMDAM [8] с 87084 до 134770. По данным в работе [11] площадь и число ледников Большого Кавказа в 1911 году равнялось  $1967,4 \text{ км}^2$  и 1329, а в 2020 году  $1060,9 \text{ км}^2$  и 2223.

2. Поскольку в бассейнах рек Инн, Катунь, Западная Кызылсу с однородной динамикой  $Fgl$  основная доля оледенения сосредоточена в интервале  $0-2 \text{ км}^2$  этот интервал следует использовать для выбора и обоснования ледников репрезентативных для региональной оценки параметров режима совокупности ледников в каждом из названных бассейнов.

3. Моменты  $End(t)$  и  $Beg(t)$  в Каталогах ледников для речных бассейнов не имеют однозначной привязки к конкретным годам, а относятся к некоторому диапазону лет, порой достаточно широкому, что, несомненно, влияет на качество описания линейного тренда высотно-площадных параметров ледников в интервале  $\Delta t$ .

**Заключение.** Впервые для оледенения в речных бассейнах Альп, Кавказа, Алтая, Памира в течение примерно 40 лет выявлена динамика площади оледенения и числа ледников в интервале от  $0-0,5 \text{ км}^2$  до  $14,5-15,0 \text{ км}^2$ . При расчете ежегодных значений  $Fgl$ ,  $Zend$ ,  $Zabl$ ,  $Zbeg$ ,  $Zmean$ ,  $Zac$  в целом для оледенения в речных бассейнах рекомендована линейная интерполяции между двумя-тремя точками прямых определений комплекса характеристик ледников доступного из каталогов ледников на протяжении трех-четырёх десятков лет, которые служат единственным источником исходной информации о пространственно-временной динамике горного оледенения Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке Института географии РАН темы госзадания № 0148-2018-0008 и FMGE-2019-0004 AAAA-A19-119022190172-5.

**Литература:**

1. Коновалов В.Г. Расчет и прогноз ледникового питания в речных бассейнах // Лед и снег. 2023, 63 (2): 188–198.
2. Коновалов В.Г. Характеристики ледникового питания рек // Криосфера Земли, 2023, т. XXVII, № 3, с. 31–39.
3. Коновалов В.Г. Региональный гидрологический режим горного оледенения. // Известия РАН. Серия Географическая. 2021. том 85. № 3. с. 368–379.
4. Paul F., Rastner P., Azzoni R., Diolaiuti G., Fugazza D., Le Bris R., Nemes J., Rabatel A., Ramusovic M., Schwaizer G., and Smiraglia C. Glacier shrinkage in the Alps continues unabated as revealed by a new glacier inventory from Sentinel-2 // Earth Syst. Sci. Data, 2020, 12. pp. 1805–1821.
5. Fluctuations of Glaciers Database. World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland. DOI: 10.5904/wgms-fog-2017-10.
6. RGI Consortium. 2017. Randolph Glacier Inventory (RGI) – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0. Technical Report, Global Land Ice Measurements from Space, Boulder, Colorado, USA. Digital Media. doi: <https://doi.org/10.7265/N5RGI6.0>.
7. Каталог ледников России [Электрон. интернет-ресурс]. Ин-т географии РАН, 2021. – <https://www.glacrus.ru/>
8. Nuimura T., Sakai A., Taniguchi K. et al. The GAMDAM glacier inventory: a quality-controlled inventory of Asian glaciers // The Cryosphere, 2015, vol. 9, p. 849–864.
9. Pfeffer W.T., Arendt A.A., Bliss A. The Randolph glacier inventory: A globally complete inventory of glaciers // J. Glaciol., 2014, vol. 60, No. 221, p. 537–552.
10. RGI Consortium. A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0. Boulder, Colorado USA, 2017. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. – <https://doi.org/10.7265/4m1f-gd79> (дата обращения: 18.02.2022).
11. Tielidze, L. G., Nosenko, G. A., Khromova, T. E., and Paul, F.: Strong acceleration of glacier area loss in the Greater Caucasus between 2000 and 2020, The Cryosphere, 16, 489–504, <https://doi.org/10.5194/tc-16-489-2022>, 2022.
12. Sakai, A.: Brief communication: Updated GAMDAM glacier inventory over high-mountain Asia, The Cryosphere, 13, 2043–2049, <https://doi.org/10.5194/tc-13-2043-2019>, 2019.